



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**Contribución al conocimiento de la dinámica trófica de la Bahía de
Chetumal basado en uso de isotopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA
TANIA LUCELY RAMÍREZ PALOMEQUE

DIRECTOR DE TESIS
DR. CARLOS ALBERTO NIÑO TORRES

ASESORES
DRA. MARÍA DEL PILAR BLANCO PARRA
M.C.A. ALBERTO PEREIRA CORONA
M.C. BENITO PREZAS HERNÁNDEZ
DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN



UNIVERSIDAD DE
QUINTANA ROO

SERVICIOS ESCOLARES
REGISTRACIONES

CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2013



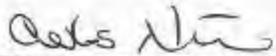
Universidad de Quintana Roo

División de Ciencias e Ingeniería

Trabajo de Tesis elaborado bajo la supervisión del comité del programa de Licenciatura y aprobada como requisito para obtener el grado de:

LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE TRABAJO DE TESIS

Director: 
Dr. Carlos Alberto Niño Torres

Asesor: 
Dra. María Del Pilar Blanco Parra

Asesor: 
M. C. A. Alberto Pereira Corona



Noviembre de 2013.

A ti, interminable bostezo del tiempo, indescriptible e infinito universo, que moldeas las sienas de cada alma, de esta alma camuflada entre la humanidad, con un destino claro como los caminos que conducen al mar...

AGRADECIMIENTOS

La impresión de este conjunto de papeles y tinta, no tendría el mismo significado sin cada momento y cada persona que he conocido hasta hoy y que han influido en mi formación, tanto personal como académica.

Agradezco enormemente a mis padres, mamá y papá, que con su apoyo, sus consejos, regaños, su ejemplo, su armonía y su esfuerzo de cada día, me han apoyado en cada paso que doy, dejándome la oportunidad de tomar mis propias decisiones, los amo.

A mi hermana, que siempre me escucha, me aconseja y me acompaña.

Agradezco a mi director de tesis, por brindarme sus conocimientos, por tratarme como una colega, por confiar en mí siempre. Quiero agradecer también a mis asesores de tesis, a cada uno por sus observaciones, por ayudarme a darle forma a mi trabajo de tesis, en especial a los profesores Benito y Pereira que además fueron mis maestros por cinco años, por sus enseñanzas, sus consejos, por confiar en mí, por su disposición siempre y su buen humor. También agradezco a los profesores de la academia de Recursos Naturales, por ayudarme en mi formación, mil gracias. A la División de Ciencias e Ingeniería, por ser una segunda casa, y a la UQROO por todas las oportunidades.

No puedo dejar de lado a esas personitas que se vuelven cómplices en el trayecto de la vida, a mis amigos: Leo, Silvia, Bety, Claudia, Lucy, German, por sus locuras y por estar conmigo en una parte muy importante espiritualmente; a mis compañeros y amigos de la carrera, a mi siempre amigo Jonathan, el buen Eloy, Hermes, mi loca e inteligente amiga Wendy, por todos los sueños contados; a mis grandes amigos que siempre me aportaron cosas valiosas, Moisés, Josué, la Ing. Rocío, Karen, Luis, Geox, mi querida Lucerito, y quienes no sé en qué momento, pero me alegro que así haya sido, se convirtieron en mis hermanas, Sunny Sánchez y Carla Cal, por llorar y reír conmigo, por dejarme entrar en sus vidas, por sus palabras sinceras, por cada momento que pasamos juntas, las quiero mis tabitas; y en especial un sincero agradecimiento por estar conmigo en el trayecto de esta tesis y más allá de lo que pudiera imaginar, por tu amoroso cariño, por tu alma cómplice de mi alma, porque siendo como eres, has despertado en mí tantos buenos sentimientos, tanta alegría, energía y una versión de mí que me enorgullece ser, gracias Edgar.

El presente trabajo de tesis se realizó como parte del proyecto PROMEP “Caracterización de las relaciones tróficas de los mamíferos acuáticos y otras comunidades presente en el Caribe Mexicano a partir del uso de isótopos estables de C y N ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$)”.

Este trabajo fue financiado en la convocatoria 2013 “Apoyo a la Titulación de la DCI”.

CONTENIDO

GLOSARIO DE TÉRMINOS	9
INTRODUCCIÓN	10
ANTECEDENTES.....	12
PROBLEMÁTICA.....	15
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVOS	18
HIPÓTESIS.....	19
ÁREA DE ESTUDIO	20
METODOLOGÍA	25
TRABAJO EN CAMPO	26
TRABAJO DE LABORATORIO.....	32
ANÁLISIS DE LOS DATOS	36
RESULTADOS.....	38
Origen trófico y nicho ecológico.....	40
Niveles tróficos (NT)	43
Fraccionamiento isotópico	44
DISCUSIÓN	48
Niveles tróficos (NT)	48
Fraccionamiento isotópico	51
Dieta del manatí antillano a partir de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$	52
Dieta de la tonina a partir de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$	53
Dieta del cocodrilo de pantano a partir de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$	56
CONCLUSIONES	57
TRABAJOS FUTUROS Y RECOMENDACIONES DE MANEJO	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa conceptual de la metodología.....	25
Figura 2. Mapa del área de estudio	27
Figura 3. Esquema de la separación de las masas en un espectrómetro de masas.....	35
Figura 4. Distribución de las muestras colectadas en el área de estudio.....	38
Figura 5. Modelo trófico del total de especies colectadas	42
Figura 6. Modelo trófico para Bahía de Chetumal	44
Figura 7. Fraccionamiento isotópico calculado para <i>T. trichechus</i> , <i>T. truncatus</i> y <i>C. moreletii</i>	46
Figura 8. Relación entre $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$	51

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Necropsia de un manatí	28
Imagen 2. Vertebra de manatí	28
Imagen 3. Delfines en Bahía de Chetumal	29
Imagen 4. Punta de acero para obtener las biopsias	29
Imagen 5. Isla Tamalcab.....	30
Imagen 6. Etiquetado de las muestras.....	30
Imagen 7. Hoja de <i>Rhizophora mangle</i>	30
Imagen 8. Código de almacenaje de las muestras, con fecha, sitio de colecta y nombre de identificación.....	31
Imagen 9. Tubos de ensaye con el código de identificación para cada muestra	32
Imagen 10. Secado de las muestras.....	32
Imagen 11. Extracción de lípidos	32
Imagen 12. Trituración de las muestras secas	33
Imagen 13. Marcaje de viales	33
Imagen 14. Pesado de las muestras en la balanza analítica.....	33
Imagen 15. Espectrómetro de masas MAT 251 y DELTA PLUS XL.....	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de varamientos de <i>T. manatus</i> en la Bahía de Chetumal.....	39
Tabla 2. Lista de biopsias colectadas de <i>T. truncatus</i> en la Bahía de Chetumal	39
Tabla 3. Lista de muestras colectadas de <i>C. moreletii</i>	40
Tabla 4. Valores isotópicos promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para muestras de la zona <i>B</i>	40
Tabla 5. Valores isotópicos promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para muestras de la zona <i>A</i> Niveles Tróficos comparados	41
Tabla 6. Niveles Tróficos obtenidos para algunas especies del ecosistema de Bahía de Chetumal	43
Tabla 7. Fraccionamiento isotópico calculado de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) entre <i>T. manatus</i> y algas y pastos marinos de dos ambientes, dulce-salobre (<i>A</i>) y marino (<i>B</i>)	45
Tabla 8. Fraccionamiento isotópico calculado de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) entre <i>T. truncatus</i> y muestras de peces colectados en dos ambientes, dulce-salobre (<i>A</i>) y marino (<i>B</i>)	47
Tabla 9. Fraccionamiento isotópico calculado de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) entre <i>C. moreletii</i> y muestras de especies colectados en el ambiente dulce (<i>A</i>)	47
Tabla 10. Niveles Tróficos comparados	49

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Isotopo estable: es un mismo elemento químico, con diferente masa atómica, de manera que tienen el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones.

δ (delta): notación en la que se expresa la proporción isotópica de un elemento en una muestra dada, en relación a la proporción isotópica del mismo elemento en una sustancia patrón o estándar, expresado en partes por mil ($^0/_{00}$).

$\delta^{15}\text{N}$: Diferencia expresada en partes por mil (‰) entre la proporción de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de una muestra con respecto a la del nitrógeno atmosférico empleado como estándar.

$\delta^{13}\text{C}$: Diferencia expresada en partes por mil (‰) entre la proporción de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de una muestra con respecto al de un estándar (Belemnite de la Formación *Pee Dee* en Carolina del Sur, USA).

Fraccionamiento isotópico ($\Delta^{15}\text{N}$ y $\Delta^{13}\text{C}$): incremento promedio entre el valor isotópico obtenido para un organismo presa y su depredador.

Espectrómetro de masas: es un instrumento que mide las masas de moléculas individuales que han sido convertidas en iones. Un espectrómetro de masas no mide la masa molecular directamente, pero mide la relación masa/carga de los iones formados de las moléculas. Se basa en la técnica de la espectrometría de masas.

Nivel trófico: posición en la que se encuentra un organismo dentro de una red trófica (alimentaria), mediante el flujo de materia y energía, según sus hábitos alimenticios. Se manejan cinco niveles tróficos, correspondiendo el primer nivel a los productores primarios, y el cinco a los depredadores tope.

Biopsia: extracción de una muestra parcial de tejido vivo.

Mamíferos acuáticos: mamíferos que habitan en cuerpos de agua.

INTRODUCCIÓN

La Bahía de Chetumal es un cuerpo de agua salobre, presenta entradas de agua dulce provenientes del Río Hondo y entradas de agua salada del Mar Caribe, está situada al sureste del estado de Quintana Roo, México y al noreste del vecino país de Belice, se localiza entre las coordenadas 17°52'–18°50' N, 87°50'–88°25' O, lo que la ubica geográficamente en una zona tropical con clima subhúmedo. El área es considerada como una Zona Sujeta a Conservación Ecológica “Santuario del Manatí”, declarada como Reserva Estatal por la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) (Vargas-Márquez et al., 2002) debido a que alberga una gran variedad de especies, que se refugian, alimentan y reproducen en el área. Dentro de éste ecosistema se encuentran algunas especies clasificadas bajo algún estatus de protección, como lo es el manatí antillano *Trichechus manatus manatus* (Linnaeus, 1758), el cual se encuentra en peligro de extinción (NOM-059-ECOL-1994) y cumple con un papel de gran importancia para la red trófica del área, además de ser una especie emblemática para la ciudad de Chetumal (Castelblanco-Martínez et al., 2011, 2009).

Una red trófica considera las interacciones alimentarias entre las diferentes especies que habitan en un mismo ecosistema, para mostrar cómo ocurren estas interacciones tróficas y a qué nivel, se pueden elaborar modelos tróficos (Christensen y Pauly, 1993). Un modelo, es una representación simplificada de algún fenómeno, concepto o proceso; éste puede ser de tipo numérico, descriptivo, físico o gráfico, por lo tanto, el objetivo de un modelo es tener una representación que sea de fácil comprensión y brinde una idea clara del fenómeno estudiado (en este caso: las interacciones alimentarias). Los modelos tróficos han sido empleados con muy buenos resultados en todo tipo de ecosistemas, y han ayudado a comprender diferentes procesos ecológicos que ocurren en éstos. Una de las técnicas relativamente más recientes y utilizadas para llevar a cabo estos modelos, es por medio del análisis de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) [$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$: ver definición en la sección de metodología] de las especies pertenecientes a los diferentes componentes del ecosistema.

Para comprender mejor de que trata el análisis de isótopos estables en estudios ambientales, se debe saber que, se llama isótopo a los átomos de un mismo elemento químico cuyo núcleo contiene el mismo número de protones pero diferente número de neutrones, por lo tanto su peso atómico varía, adquiriendo diferentes características, por ejemplo, algunos son inestables y presentan un decaimiento radioactivo (isótopos radioactivos), y los que no presentan este decaimiento y por lo tanto son estables (isótopos estables) (Merav-Ben y Flaherty, 2012). La técnica se basa, en que la abundancia isotópica de los diferentes elementos químicos varía espacialmente debido a procesos naturales; y que un individuo, al alimentarse, asimila y eventualmente refleja en sus tejidos la composición isotópica del alimento ingerido (Torres-Dowdall et al., 2006). Los isótopos estables de carbono y nitrógeno presentes en un organismo, están estrechamente relacionados con la dieta de los mismos (Newsome et al., 2010). De manera que, al obtener la composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) de un organismo, se pueden inferir aspectos relacionados a su dieta, la dinámica del ecosistema, así como realizar estudios de rastreo de contaminantes, y estudios paleontológicos entre muchos otros (Newsome et al., 2010).

El presente trabajo consistió en elaborar un modelo trófico de la Bahía de Chetumal, basado en el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno, que permita representar de manera gráfica la posición trófica que ocupan algunos organismos de los diferentes grupos funcionales presentes en el ecosistema, así como las posibles interacciones entre éstos; cabe mencionar que el presente trabajo tiene como especies focales al manatí antillano (*Trichechus manatus*), la tonina (*Tursiops truncatus*) y el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), siendo estos los recursos naturales de principal investigación para el modelo trófico de la bahía, de tal forma, se brinda información valiosa que podría ser tomada en cuenta en las decisiones que conlleven al manejo adecuado de la zona sujeta a conservación ecológica “Santuario del Manatí”, Bahía de Chetumal.

ANTECEDENTES

El primer registro que se tiene acerca de los isótopos estables, se conoce en 1912 cuando John Thomson demostró la existencia de estos elementos químicos, tras sus experimentos, que consistían en pasar neón (Ne) a través de un tubo luminoso y desviando los iones de neón por medio de campos eléctricos y magnéticos, demostrando que el (elemento) neón existe en más de una forma. Así encontró dos isótopos de neón, de números masa de 20 y 22. Unos años más tarde el físico Francis William Aston, en 1919 inventó un instrumento llamado espectrómetro de masas, el cual ayudo a detectar, cuantificar y estudiar mejor a los isotopos estables. Este instrumento consistía en usar un haz de iones con carga positiva (+), que se desviaba en primer lugar mediante un campo eléctrico y que seguidamente se desviaba en la dirección opuesta con un campo magnético relacionando la desviación de los mismos con su masa (Merav-Ben y Flaherty, 2012).

Las moléculas que conforman todas las sustancias, están compuestas por átomos, la mayoría de estas moléculas tienen átomos con un único peso atómico, pero otras menos frecuentes tienen átomos que pueden ser inestables (isótopos radioactivos) o también estables (isótopos estables), estos últimos corresponden a elementos que son muy abundantes en la naturaleza, forman parte de tejidos como huesos, esmalte dental, piel, etcétera, por lo que pueden perdurar incluso después de que el organismo haya muerto. Debido a estas características el uso de isótopos estables en estudios ecológicos, se ha extendido ampliamente; actualmente muchos laboratorios a nivel mundial los utilizan de manera rutinaria ya que pueden proveer información rápida y certera, acerca de procesos (ecológicos) que con otras técnicas son difíciles de cuantificar, como son: estudios tróficos inter e intra específicos, procesos metabólicos, migración de animales, y ciclos biogeoquímicos, entre otros (Hoefs, 2009 2010, Guerrero, 2000, Pérez-Crespo, 2010, Santiago, 2005).

Isótopos estables de hidrógeno, nitrógeno, carbono, y oxígeno han sido los isótopos principalmente empleados en estudios ecológicos, debido especialmente a que éstos se encuentran de manera abundante en la naturaleza, sin embargo, también han sido utilizados isótopos estables del plomo, azufre y estroncio, pero con menor frecuencia (Newsome et

al., 2010). La técnica del uso de isótopos estables para delinear redes tróficas, se basa en que los tejidos del consumidor se forman a partir del alimento asimilado, y por lo tanto la composición isotópica del consumidor es reflejo del alimento consumido y asimilado en el tiempo (Newsome et al., 2010), en palabras sencillas “somos lo que comemos”.

Trabajos realizados en ecología trófica han demostrado que los valores isotópicos para el nitrógeno en organismos animales, decrecen según la calidad de la proteína dietética, y aumenta con la cantidad de la misma, de manera que se tendrán niveles más altos para especies carnívoras, contrario a las herbívoras. En el caso del carbono es útil para diferenciar la dieta de los herbívoros y, en el caso de los carnívoros, para determinar de forma indirecta el tipo de hábitat donde se alimentan. Estudios enfocados a las cadenas tróficas se han desarrollado con frecuencia en zonas templadas, sin embargo en años recientes han aumentado los estudios realizados en los trópicos (Santiago et al., 2005), aportando así información base, para entender procesos complejos. Alrededor del mundo se han realizado estudios a partir del uso de isótopos estables; caben mencionar estudios en los cuales se elaboró un modelo trófico en ecosistemas similares al área de estudio, como el trabajo realizado por Okey y Pugliese (2001) en la Ensenada Atlántica Sur en Estados Unidos (Okey and Pugliese, 2001), y por Freire et al. (2008), quienes realizaron un modelo trófico para describir ecosistemas marinos en Brasil. En México también se han realizado modelos con redes tróficas, entre ellos se pueden mencionar los trabajos elaborados en las lagunas: Madre en Tamaulipas (Barbara-Macías y Castelblanco-Martínez, 2008), Tamiahua en Veracruz (Abarca-Arenas y Valero-Pacheco, 1993), Términos en Campeche (Manickchand-Heileman et a., 1998), Celestun en Yucatán (Chávez et al., 1993)(Yucatán), la Bahía de la Ascención en Quintana Roo (Vidal y Basurto, 2003) y quizá el que mayor similitud tenga con el presente trabajo es el estudio realizado recientemente por Castelblanco et al. (2011) acerca de las relaciones tróficas de las especies que habitan en la Bahía de Chetumal, con el manatí antillano, de igual manera Stanley et al. (2010), realizaron un estudio en el cual se evaluó la preferencia alimenticia del manatí antillano en las costas de Belice, Florida y Puerto Rico, basándose en el análisis de isótopos estables. Estos trabajos son de gran importancia para conocer más de cerca las dinámicas alimenticias de organismos que se encuentran en estos ecosistemas.

Con la elaboración del presente Modelo Trófico de la Bahía de Chetumal, utilizando isótopos estables, se aportan bases importantes en materia de ecología trófica, y que contribuye con información que puede ser empleada en la modificación e implementación de planes de manejo y conservación del área sujeta a conservación ambiental “Santuario del Manatí”.

PROBLEMÁTICA

La Bahía de Chetumal representa un área de gran importancia ecológica para muchas especies, tanto animales como vegetales, algunas de éstas están catalogadas bajo alguna categoría de protección, tal es el caso del manatí antillano *Trichechus manatus manatus* (*T. manatus*), el cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii*, el cocodrilo americano *Crocodylus acutus* y flora como el mangle botoncillo *Conocarpus erectus*, mangle blanco *Laguncularia racemosa* y mangle rojo *Rhizophora mangle*, entre otros, que son especies características de estos hábitats. Debido a la presencia permanente de estos organismos, especialmente la del manatí antillano, se decretó a la Bahía de Chetumal, y zonas aledañas como un área natural protegida estatal, clasificada como zona sujeta a conservación ecológica “Santuario del Manatí” por la SEMA, para así asegurar la conservación del área y de las especies que en él habitan (Periodico Oficial del Gobierno del Estado de Quintana Roo, 1996). A pesar de la gran importancia ecológica (reconocida a nivel estatal e internacional) de la Bahía de Chetumal, son muy pocos los trabajos que se han realizado, para tratar de entender las interacciones tróficas que ocurren entre los diferentes componentes del ecosistema, lo que podría ocasionar que por la falta de información se tomen decisiones de manejo erróneas para el área.

Actualmente no se están cubriendo todos los aspectos que incluye el Programa de Manejo del Santuario del Manatí, el ecosistema de la bahía podría ser una fuente de aprovechamiento para los pobladores que se encuentran alrededor de ella, sin embargo son muy pocas las actividades que se realizan, tanto para obtener información como para su manejo.

El desarrollar un modelo trófico de la Bahía de Chetumal (basado en isótopos estables), ayudará a comprender las interacciones depredador–presa que ocurren en esta área protegida y de esta manera contribuirá aportando información base que pueda ser tomada en cuenta dentro de los planes de manejo y conservación de la misma.

JUSTIFICACIÓN

En el estado de Quintana Roo, contamos con 23 áreas naturales protegidas (ANP) (Prezas, 2010), sumando 24 con la porción norte de la isla de Cozumel decretada como ANP en el 2012. La Bahía de Chetumal es una reserva estatal, la cual fue decretada como zona sujeta a conservación ecológica “Santuario del Manatí”, el 24 de octubre de 1996 (Periodico Oficial del Gobierno del Estado de Quintana Roo, 1996), de esta forma quedan establecidas reglas generales de procedimiento dentro del Programa de Manejo del Área (Universidad de Quintana Roo, 2003);. Esta categoría se designó, debido a que la reserva presenta una gran biodiversidad, además de ser considerada como uno de los seis sitios prioritarios para la conservación del Sistema Arrecifal Mesoamericano, ya que recibe una gran aportación de nutrientes provenientes del Río Hondo, y representa sitios de anidación y crianza para especies acuáticas comerciales, también es una zona de alimentación y refugio del manatí antillano, anidación de aves y hábitat de especies de flora y fauna protegidas o en peligro de extinción, ésta es una de las zonas en mejor estado de conservación de humedales y manglares en el sur de Quintan Roo (Espinoza-Ávalos et al., 2009). Los avistamientos del manatí antillano, (especie emblemática de la ciudad de Chetumal) se han realizado en muchas ocasiones por los mismos pobladores de la ciudad, principalmente frente al boulevard de la Bahía de Chetumal, frente al monumento “El pescador”, así lo mencionan las personas que transitan en las tardes por éste lugar. De igual manera se pueden apreciar pescadores que ya sea en las mañanas o en las tardes, entran unos metros en la bahía y con atarraya o anzuelo atrapan peces, como la mojarra *Gerres cinereus* y la chihua *Eugerres plumieri*, cangrejos, como la Jaiba azul *Callinectes sapidus* y en ocasiones camarones; estas prácticas son principalmente de autoconsumo, ya que la productividad de la bahía, no es suficiente para sostener una producción comercial considerable, lo que también queda establecido dentro del Programa de Manejo del Área Natural Protegida. Otro de los beneficios que nos ofrece la conservación de este ecosistema, se ve reflejado año con año en temporada de huracanes, ya que los humedales que se encuentran en la costa, actúan como barrera natural, evitando que los vientos impacten con mayor intensidad a la ciudad, brindando protección para los habitantes. A nivel internacional, éste ecosistema es compartido entre México y Belice por lo tanto ambos países se ven beneficiados por la

conservación del área y los estudios que se realicen en él, generando armonía para ambos, además de proyectar a la capital del estado de Quintana Roo a nivel nacional y mundial.

A pesar de las características que se atribuyen al área, la información que se ha generado con referencia a sus comunidades y la estructura trófica de las mismas hasta la fecha es muy reducida. Al elaborar un modelo trófico de la Bahía de Chetumal, se tendrá una representación gráfica de las interacciones tróficas que ocurren en este importante ecosistema. Y por lo tanto generarán bases científicas, e información que sirvan para gestionar, proteger y manejar de una manera más adecuada los recursos naturales presentes en el área y que puedan ser promovidos por el estado, y aprovechados por la población local.

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar un modelo trófico gráfico de la Bahía de Chetumal, basado en la información obtenida del análisis de los isótopos estables de C y N, en ciertos elementos del ecosistema.

PARTICULARES

- Por medio de las muestras colectadas de especies focales como *Trichechus manatus manatus* y *Tursiops truncatus*, determinar la importancia de los diferentes componentes del ecosistema (Bahía de Chetumal).
- Determinar el nivel trófico que ocupan las diferentes especies muestreadas en el área de estudio.
- Elaborar un modelo trófico para la Bahía de Chetumal basado en el análisis de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$.

HIPÓTESIS

- El modelo trófico elaborado para la Bahía de Chetumal, será similar al encontrado en otras lagunas costeras de la región Caribe.
- El nivel trófico para la especie *Trichechus manatus manatus* será similar al reportado por Castelblanco en ésta área (Castelblanco-Martínez et al., 2011), ubicándolo en un nivel trófico de 2.0, basado en una alimentación principalmente compuesta por manglar y detritus.
- El nivel trófico para la tonina *Tursiops truncatus* se encontrará entre 3.5 y 3.9, similar a lo reportado para otras poblaciones de la región Caribe.
- El nivel trófico (NT) determinado para el cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii* y el cocodrilo americano *Crocodylus acutus*, se encontrará entre 3.5 y 4.5, similar a lo reportado para otras poblaciones a nivel mundial.

ÁREA DE ESTUDIO

Bahía de Chetumal

Es un cuerpo de agua que interactúa con el sistema lagunar Bacalar vía subsuperficial y con las lagunas Agua Salada, Chile Verde y Guerrero superficialmente por la desembocadura de las mismas a través del Río Cacayuc; en la porción terrestre se encuentran al oeste, los ejidos de Úrsulo Galván, Tollocan, Calderas de Barlovento, la ampliación de Calderitas y la ciudad de Chetumal. Limita al Norte con el ejido Pedro Antonio de los Santos, al Sur con la frontera México-Belice e influenciada por aportes de agua dulce provenientes del Río Hondo, y eventualmente recibe aportes superficiales de la laguna de Bacalar (Diario Oficial de la Federación, 2001), al Este colinda con la región conocida como Costa Maya, al Oeste con la ciudad de Chetumal y terrenos ubicados en el margen oriental de la laguna de Bacalar (17°52'–18°50' N, 87°50'–88°25' O).

La Bahía de Chetumal tiene aguas someras (de 1 a 5 metros) y con baja productividad, cuenta con una temporada fuerte de lluvias durante el año, que van de junio a octubre, presentando canícula, también es un sitio vulnerable a los efectos de los Huracanes durante la temporada mencionada. Debido a su ubicación geográfica presenta clima subhúmedo, muy cálido, (clasificado como Aw(x') i', Aw1 i') (García, 2007) con temperaturas mínimas de 22°C y máximas de 31°C y vientos dominantes que varían entre los cuadrantes Este y Sureste (dirección 93°). Los vientos del Este se presentan de junio a octubre y los del Sureste de enero a mayo. La velocidad media de estos vientos es en promedio de 3-3.5 m/seg (10-25 km/h). Los suelos predominantes en el área son suelos según la terminología de la FAO/UNESCO como: Regosoles cálclicos (Rc), Rendzinas-Litosoles (E+I) y Solonchak-ártico o mólico (Zo, Zm). Esta región es considerada Reserva Estatal por México “Santuario del manatí” y por Belice “Corozal Bay Wildlife Sanctuary”.

Ámbito social:

Cercano al área de estudio (Bahía de Chetumal) se encuentran 13 asentamientos humanos (INEGI, 2000), mismos que se encuentran dentro del “Santuario del Manatí”. Los más grandes son Laguna Guerrero, Raudales y la ciudad de Chetumal, en la actualidad

mantienen rasgos de localidades rurales, exceptuando a la ciudad de Chetumal, mientras que el resto de los asentamientos son rancherías (asentamientos menores a 15 habitantes) (INEGI, 2000). Actualmente la ciudad de Chetumal cuenta con 151 243 habitantes según el censo de población y vivienda del INEGI (2010).

Ámbito económico:

En ésta región, la agricultura y la ganadería no han tenido grandes derramas económicas, debido a las altas inversiones que se requieren para su desarrollo, la magnitud del mercado local que demandan y la falta de iniciativas actuales para la industrialización, tanto de la carne como de la leche. En el caso de la pesca, a pesar de la presencia de cuerpos de agua importantes para su realización, en el Santuario del Manatí son muy pocas las personas que practican esta actividad. Además que en el área, la abundancia de especies con valor económico, no es suficiente para ser comercializado a gran escala. Sin embargo algunos practican la pesca de autoconsumo y deportiva.

La agricultura se constituye como la principal actividad productiva y uso del territorio.

Dentro del sector secundario se han constituido algunas empresas inmobiliarias ejidales, procesadoras de materiales de construcción, así como empresas principalmente enfocadas a las actividades extractivas de recursos naturales tales como los pétreos y los forestales. Gran parte de la población chetumaleña depende del sector terciario, debido a que es la capital del Estado. El desarrollo turístico cada vez es más significativo, debido al interés del Gobierno Estatal y Municipal por promover la actividad mediante la elaboración de Planes Maestros de Turismo Alternativo (Universidad de Quintana Roo, 2003).

Ámbito ambiental:

El área de la reserva Santuario del Manatí cuenta con al menos 17 tipos de asociaciones vegetales, siendo dominante la selva mediana con especies como la palma chit *Thrinax radiata* y selva baja subcaducifolia, con chaka *Bursera simaruba*, yaxnik *Vitex gaumeri*, árbol de zapote *Manilkara zapota*, boob *Coccoloba spicata*, además de la vegetación acuática donde se encuentra una extensión considerable de mangle, como mangle rojo

Rhizophora mangle, mangle botoncillo *Conocarpus erectus*, mangle blanco *Laguncularia racemosa*, úcar *Bucida buceras*, y un tipo de pastos como el *Cladium jamaicense*, en la costa principalmente.

Entre los mamíferos se pueden contar 89 especies de mamíferos, entre terrestres y marinas, como el manatí antillano *T. m. manatus*, considerada en la categoría de peligro de extinción, mono aullador negro *Alouatta pigra*, mono araña *Ateles geoffroyi*, tapir *Tapirus bairdii*, nutria tropical *Lontra longicaudis*, el jaguar *Panthera onca*, el tigrillo *L. wiedii* y el yaguarundi *Herpailurus jagouaround* (Morales-Vela and Padilla-Saldívar, 2009). Para el caso de reptiles y anfibios se reportan 15 especies de anfibios distribuidos en 9 géneros y 5 familias, y 61 especies de reptiles entre los que destacan el cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii* y el cocodrilo americano *Crocodylus acutus* (Calderón-Mandujano et al., 2009). En lo que respecta a la ictiofauna para la zona de estudio, se han encontrado y enlistado 81 familias en las que se reparten 139 géneros y 182 especies de elasmobranquios y peces (Schmitter-Soto et al., 2009), algunos de ellos son: mojarra *Gerres cinereus*, la chihua *Eugerres plumieri* y bagre *Ariopsis assimilis* (Schmitter-Soto et al., 2009). Dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001 se encuentran registradas 29 especies de mamíferos con un estatus de protección, dos de las especies de anfibios con la categoría de protección especial, y para los reptiles se reportan 32 enlistadas bajo diferentes estatus de conservación.

Costas de Xcalak y Mahahual

Xcalak es una comunidad de pescadores, en Costa Maya en el Estado de Quintana Roo, en el año 2000 fue declarada como área natural protegida conocida como Parque Nacional Arrecifes de Xcalak por la CONANP (Diario Oficial de la Federación, 2000). Los arrecifes coralinos de Xcalak son ecosistemas que se desarrollan en aguas tropicales someras, en los que coexisten muchas especies de coral, peces, moluscos, crustáceos, equinodermos, algas y otros grupos de organismos marinos, por lo que son considerados como los ambientes más diversos y complejos del medio marino, todo el año se puede pescar sierra, jurel, atún, barracuda, mero, pargo y sábalo; y de abril a junio, se encuentra mucho dorado, marlín y pez vela. En kayak o lancha se puede llegar a La Aguada, zona de manglares con más de 40

especies de aves. También es un excelente lugar para practicar la pesca con mosca y esnorqueleo.

Xcalak cuenta con una población de 340 habitantes (INEGI, 2010). En Xcalak se encuentra el canal de Zaragoza, un canal que permite la comunicación de la Bahía de Chetumal con el mar Caribe sin tener que atravesar las aguas territoriales de Belice. A 60 km al sur, se encuentra Mahahual, un importante centro turístico (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2004).

Mahahual es una comunidad de pescadores, considerado como puerto de altura, debido al arribo de Cruceros de la ruta del Caribe. Cuenta con una población de 910 habitantes (INEGI, 2010). Está considerada dentro del Programa de Ordenamiento Territorial de Costa Maya (2006).

Laguna Guerrero

Como se mencionó anteriormente, la Bahía de Chetumal, se ve influenciado por aportes de agua dulce, de los diferentes cuerpos de agua al rededor del área, uno de ellos es Laguna Guerrero, que se encuentra ubicado al noroeste de la bahía, con su sistema de canales que comprenden unos 15 km² de aguas ligeramente turbias y provistas de numerosos ojos de agua de distintas dimensiones (Universidad de Quintana Roo, 2003).

Obtuvo su reconocimiento como ejido en agosto de 1943, a partir del reparto de tierras ejidales en la época cardenista. La Laguna Guerrero es un área de presencia constante de manatíes, especialmente de hembras con cría. Fue en esta laguna donde el manatí “Daniel” fue encontrado, y donde actualmente se reciben visitas a los que deseen conocerlo. Olivera-Gómez (2002), realizó un estudio sobre la asociación entre características del hábitat, distribución y abundancia del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en el norte de la Bahía de Chetumal, encontrando que la mayor frecuencia de ocurrencia fue en la zona conocida como La Barra o Bocana del sistema Lagunar Guerrero, destacando especialmente la distribución de éstos mamíferos cerca de las fuentes de agua dulce.

Río Hondo

El río Hondo es un corredor en medio de la selva y una frontera natural entre México y Belice. Durante la época colonial, fue utilizado como vía fluvial para sacar el preciado palo de Campeche, que se explotaba en la región. Posteriormente, fue la ruta para transportar el chicle natural, que se extraía del árbol del chicozapote, la caoba y otras maderas preciosas. En su recorrido se encuentran diversos manantiales, arroyos, cenotes y lagunas, que hasta ahora no han sido muy explorados.

El Río Hondo tiene un régimen permanente y un escurrimiento medio anual de 1,500 millones de metros cúbicos (Mm^3) de los cuales $500 Mm^3/año$ son colectados en territorio de Guatemala y de Belice (Universidad de Quintana Roo, 2003).

Es un cuerpo de agua que aporta agua dulce de manera superficial a la Bahía de Chetumal; entre la fauna característica se encuentran especies de copépodos como *Arctodiaptomus dorsalis*, *Eucyclops conrowae*, *Thermocyclops inversus*; de peces como *Astyanax aeneus* y *Cichlasoma meeki*; de aves como el pavo ocelado *Agriocharis ocellata*, el colibrí vientre-canelo *Amazilia yucatanensis*, el loro yucateco *Amazona xantholora*, el carpintero yucateco *Centurus pygmaeus*, la chara yucateca *Cyanocorax yucatanicus*, el granatelo yucateco *Granatellus sallaei*, el bolsero yucateco *Icterus auratus*, el copetón yucateco *Myiarchus yucatanensis*, la pachacua yucateca *Nyctiphrynus yucatanicus*; es una zona de mayor abundancia de la nutria *Lutra longicaudis* y el manatí *Trichechus manatus* los cuales se encuentran amenazados (CONABIO, 2012).

METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama (Figura 1) se esquematiza los pasos que se llevaron a cabo para la obtención de resultados del presente estudio. Para un mejor entendimiento del trabajo realizado, la metodología se dividió en tres secciones: *i.* Trabajo de campo (recuadro gris), *ii.* trabajo de laboratorio (recuadro gris fuerte) y *iii.* análisis de los datos (gabinete) (recuadro negro), los cuales se describen detalladamente más adelante.

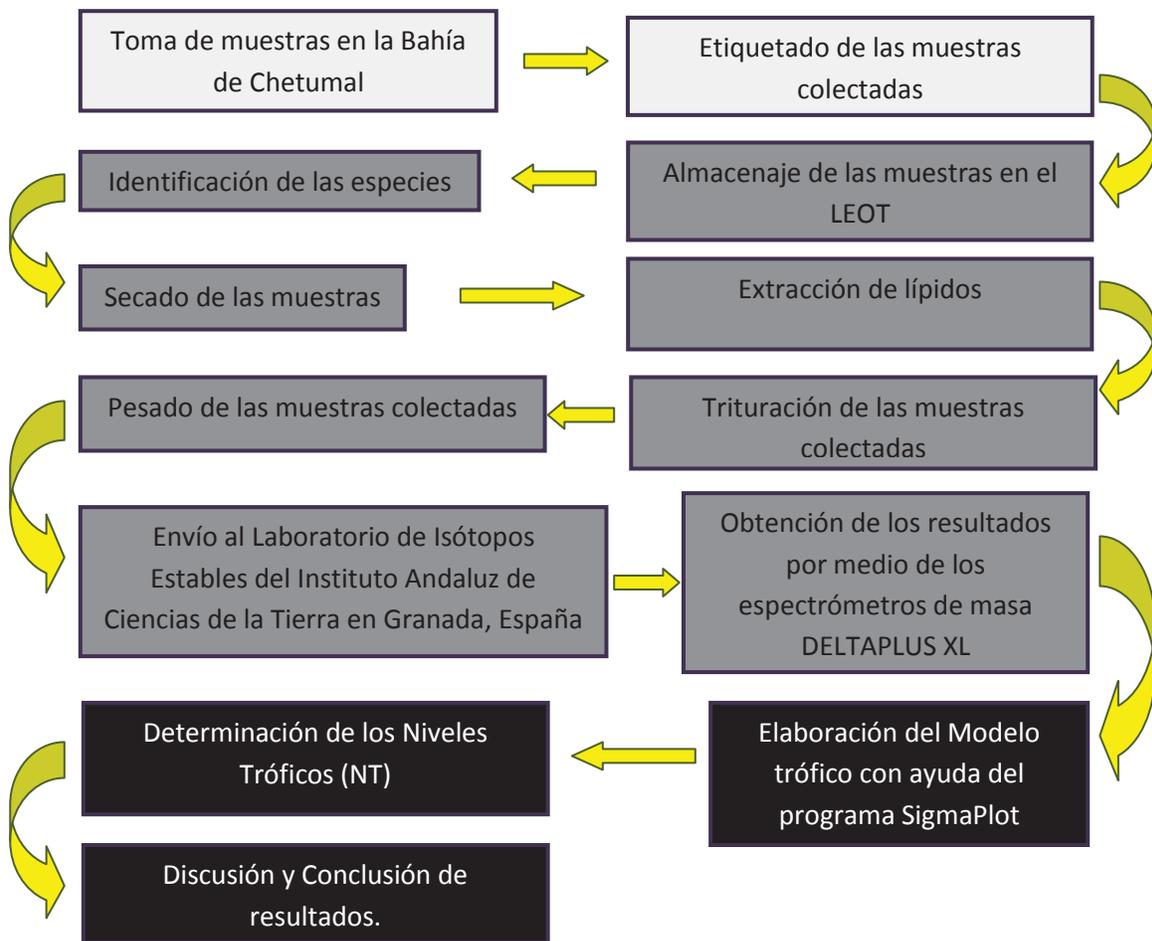


Figura 1. Mapa conceptual de la metodología.

Previo a las colectas en campo, se realizó una revisión exhaustiva de los trabajos ecológicos concernientes al área de estudio Bahía de Chetumal, así también de trabajos realizados con la técnica del análisis de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, estudios con modelos tróficos realizados en ecosistemas similares al área de estudio, y la espectrometría de masas, temas centrales del presente trabajo..

Una vez desarrollada ésta etapa se llevaron a cabo las salidas de campo para la colecta de muestras, las cuales se encuentran descritas a continuación:

TRABAJO EN CAMPO

Adquisición de muestras:

Las muestras fueron colectadas en diferentes puntos dentro de la Bahía de Chetumal, estos puntos se eligieron de acuerdo a sitios estratégicos donde frecuentemente se encuentran los diferentes grupos funcionales presentes en la bahía (mamíferos acuáticos, peces, invertebrados, fitoplancton, vegetación, detritus, entre otros); los puntos se dividieron en dos áreas principales, A. interior de la Bahía de Chetumal, Río Hondo y Laguna Guerrero, y B. costas de Mahahual e Xcalak (Figura 2). La zona A (Figura 2) comprende diferentes puntos que se tomaron cercanos a la desembocadura del Río Hondo y en el interior del mismo, otros puntos fueron tomados en Laguna Guerrero, y otros se tomaron en el interior de la Bahía de Chetumal, correspondiente a un ambiente dulce-salobre; la zona B comprende muestreos en las costas de Mahahual y Xcalak (Figura 2), que corresponde a un ambiente marino.

Se llevaron a cabo salidas de campo en lancha, durante los meses de noviembre a diciembre de 2011, y en 2012 de enero a abril, y de agosto a diciembre, para colectar el mayor número de especies posibles especialmente de peces, y material vegetal, cabe mencionar que para cada especie se tomó un mínimo de 3 muestras. La colecta de las muestras de mamíferos marinos (manatí y tonina) se realizó a partir de biopsias tomadas in situ, así como de organismos encontrados varados muertos.

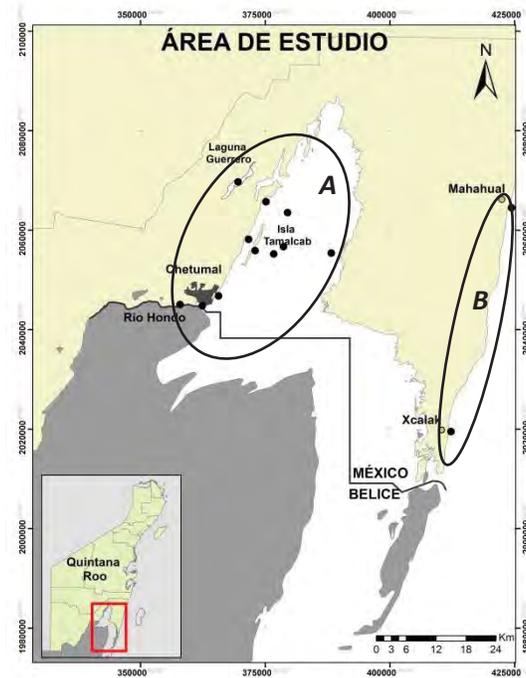


Figura 2. Mapa de la zona de estudio

Proceso de colecta para mamíferos acuáticos.

En la Bahía de Chetumal se reconocen tres mamíferos acuáticos, siendo éstos, la tonina (*Tursiops truncatus*), manatí (*T. m. manatus*) y la nutria (*Lontra longicaudis*), sin embargo, sólo se obtuvieron muestras del manatí antillano y el delfín, excluyendo a la nutria debido a que es muy difícil avistarlas y existe poca información al respecto. Las muestras de *T.m manatus* se colectaron a partir de ejemplares encontrados varados muertos (Imagen 1) siguiendo el protocolo de Bonde *et al.* (1983), teniendo en cuenta que el animal no presentara una descomposición severa. Los restos óseos de cada ejemplar se depositaron en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chetumal, dentro de un área predeterminada para su disposición. El procedimiento para obtener las muestras de tejidos consistió en tomar muestras de tejido epitelial y muscular con ayuda de un bisturí o tijeras de disección, y según el grado de descomposición de los órganos internos, se tomó el mayor número de muestras posibles; posteriormente se colocaron en viales o bolsas herméticas con su respectivo código de identificación.



Imagen 1. Necropsia de un manatí.

Durante los meses de julio de 2012 a febrero de 2013 se encontraron varados 6 individuos de manatí en diferentes puntos de la Bahía de Chetumal, principalmente en la desembocadura del río Hondo, con diferentes grados de descomposición. Por último, se utilizó otro método, el cual consistió en obtener muestras de tejido óseo de piezas adquiridas con anterioridad a las fechas de los individuos encontrados en varamiento, así se obtuvo una muestra la cual corresponde a una vértebra de manatí (Imagen 2), dando un total de 7 muestras.



Imagen 2. Vertebra de manatí.

Para realizar la colecta de muestras de *T. truncatus* se realizaron recorridos en lancha al interior de la Bahía de Chetumal, durante los meses de mayo a noviembre del año 2012,

obteniendo un total de 3 biopsias de tejido epitelial (Imagen 3). La elección de los sitios de muestreo se basó principalmente en avistamientos *in situ*; para obtener las muestras se usó una ballesta y flechas modificadas (Imagen 4) para la toma de las biopsias, en la parte anterior de la flecha se empleó una punta de acero con 3 pequeños dientes en su interior, los cuales cumplen la función de sacar las muestras. Posteriormente las biopsias se guardaron en viales con alcohol etílico para conservarlas.



Imagen 3 y 4. Toninas en Bahía de Chetumal y punta de acero para obtener las biopsias.

Proceso de colecta para reptiles

Los cocodrilos fueron capturados de manera manual e inmovilizados en el Río Hondo. Se tomó una escama de la región dorsal de cinco individuos. Una vez obtenidas cada una de las muestras, se almacenaron en bolsas herméticas, y se les asignó un código de identificación, el cual tiene información sobre la fecha de colecta, el lugar y un número para la especie.

Proceso de colecta para peces

Durante las salidas de campo se procuró tomar la mayor cantidad de muestras de tejido epitelial y muscular de peces, las cuales se obtuvieron directamente con los pescadores locales, quienes pescan en el área de Punta Flor, la Isla Tamalcab, a orillas del boulevard y sus alrededores (Imagen 5), el método de captura que ellos utilizan se considera como artesanal, e incluye, anzuelos, atarrayas, redes, arpón y trampas de atajo en el caso de crustáceos. Para cada muestra se procuró obtener una fotografía (Imagen 6) y anotar su

nombre común para su posterior identificación taxonómica. Las muestras se guardaron en bolsas herméticas.



Imagen 5 y 6. Isla Tamalcab y etiquetado de las muestras.

Proceso de colecta para invertebrados

El proceso que se siguió fue similar al de los peces, unos fueron colectados durante los recorridos en lancha, y otros proporcionados por los pescadores locales. Entre los cuales se obtuvieron crustáceos, y bivalvos, entre otros.

Proceso de colecta para vegetación

En el caso de las muestras de vegetación, se tomaron en ambos sitios de colecta (A, B), principalmente hojas de las especies de mangle *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Rhizophora mangle* (mangle rojo) (Imagen 7) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo). De igual manera se obtuvieron muestras de macroalgas y pastos marinos, los cuales se colectaron manualmente.



Imagen 7. Hoja de *Rhizophora mangle*.

Proceso de colecta para detritus

El detritus son residuos que quedan de la desintegración y deterioro de vegetación y animales, también conocido como Materia Orgánica Particulada (MOP) y contiene restos de hojas, cortezas, peces muertos, algas y todo lo que pueda encontrarse suspendido en el agua. Se utilizó una draga con malla fina, durante las salidas en lancha al interior de la bahía, se mantuvo en el agua de 5 a 10 minutos aproximadamente.

Una vez colectadas, se les asignó un código a todas las muestras, se les tomó foto (Imagen 8) y posteriormente fueron trasladadas al Laboratorio de Ecología y Ordenamiento Territorial (LEOT) de la Universidad de Quintana Roo, donde se mantuvieron a una temperatura de -2°C , hasta el momento de su procesamiento. La identificación de las especies, se llevó a cabo de tres maneras, primeramente se consultó a un experto en el tema, por medio de búsqueda bibliográfica y a partir de claves taxonómicas. En el caso de las macroalgas y pastos marinos, se consultó una guía (Scullion y Masterton, 2000) y con ayuda de un experto, se identificaron las muestras; para el caso de los peces, con ayuda de un experto y con una base de identificación en línea (www.fishbase.com); para los mamíferos marinos y el cocodrilo de pantano, de acuerdo con el nombre común, se consultó a un experto y se corroboró el nombre científico en diversos artículos que hacen mención sobre la especie; para el resto de las muestras, se consultó a un experto.



Imagen 8. Código de almacenaje de las muestras, con fecha, sitio de colecta y nombre de identificación.

TRABAJO DE LABORATORIO

El trabajo en laboratorio se llevó a cabo durante los meses de agosto de 2012 a enero del 2013. Para cada muestra colectada, se tomó una porción (aprox. 500mg) del tejido colectado, con ayuda de pinzas, bisturí, y tijeras de disección, se colocaron en tubos de ensaye, previamente etiquetados (Imagen 9).



Imagen 9. Tubos de ensaye con el código de identificación para cada muestra.

Estos se colocaron en gradillas en una estufa de laboratorio por un periodo de 72h, a una temperatura de 60°C, para secar las muestras (Imagen 10). Con el fin de retirar el exceso de lípidos todas las muestras se colocaron en una solución de cloroformo y metanol (1:1, grado-HPLC, SIGMA) (Imagen 11), por un periodo de 48 horas, posteriormente cada muestra fue molida en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino (Imagen 12) y se guardaron en viales previamente marcados con su código (Imagen 13).



Imagen 10 y 11. Secado de las muestras y extracción de lípidos.



Imagen 12 y 13. Trituración de las muestras secas y marcaje de viales.

Una vez obtenida la muestra homogenizada, fueron pesadas en una balanza analítica (Imagen 14) del LEOT, pesando entre 50 y 100 mg de cada una de las muestras obtenidas, se enviaron vía aérea al Laboratorio de Biogeoquímica de Isótopos Estables de Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra en Granada, España (CSIC-UGR) para la cuantificación de isótopos estables de C y N por espectroscopia de masas.

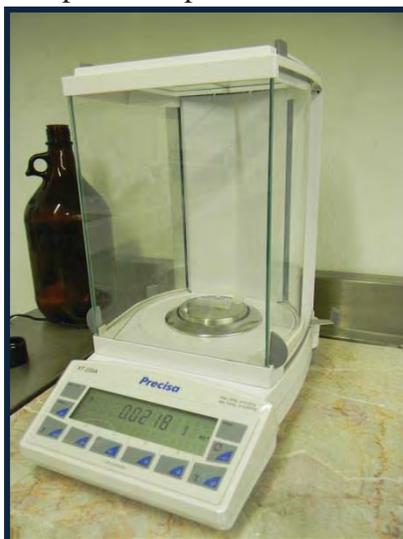


Imagen 14. Pesado de las muestras en la balanza analítica.

- Lectura de isotopos estables (LIE)

EL espectrómetro de masas que se utilizó es el DELTA PLUS XL (Imagen 15), de la marca Finnigan. Es un espectrómetro de flujo continuo, y tiene instalado el sistema automático

Gas Bench II. Las muestras se analizaron por duplicado para asegurar la confiabilidad de los datos.



Imagen 15. Espectrómetro de masas DELTA PLUS XL.

Los estándares que se utilizaron en la calibración de este espectrómetro fueron N₂ (99.99%) con un N con referencia al nitrógeno atmosférico igual a -0.21 y CO₂ (99.8%) con un C con referencia al estándar internacional de la calcita fósil denominada Pee Dee Belemnite (PDB) igual a -43.85. Las diferencias relativas de las razones isotópicas estables entre las muestras y los estándares se expresaron como δ (delta). Los valores isotópicos de N y C se obtuvieron a partir de las razones medidas en la muestra y la de los elementos estándares usando la expresión siguiente:

La proporción isotópica obtenida se expresa en anotación delta estándar (δ), como:

$$\delta^h X (‰) = [(R_{\text{muestra}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1,000$$

En donde:

X= el elemento, h= la masa del isótopo pesado del elemento X, $R_{\text{muestra}}/R_{\text{standard}}$ = es la proporción entre el isótopo pesado y el ligero para el elemento X ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$).

Principios básicos de un espectrómetro de masas:

Un espectrómetro de masas puede separar átomos, o más exactamente iones, con diferentes masas y medir sus abundancias relativas (Plascencia, 2003) Éste principio se muestra en la Figura 3 donde el gas que contiene los diferentes isótopos de un elemento se ionizan por impacto electrónico en la cámara de ionización. Los iones positivos se aceleran por un alto voltaje y entran en el campo magnético perpendicularmente al campo eléctrico (Plascencia, 2003). La trayectoria de los iones ahora viene a ser circular por la fuerza de Lorentz. El radio del círculo depende de la masa del ion: los iones con masas más pesadas tendrán una trayectoria más larga. En esta trayectoria los diferentes iones isotópicos se separarán e impactarán en un colector (Colector Faraday). En este colector los iones pierden su carga eléctrica, causando una pequeña corriente eléctrica que se detecta y amplifica.

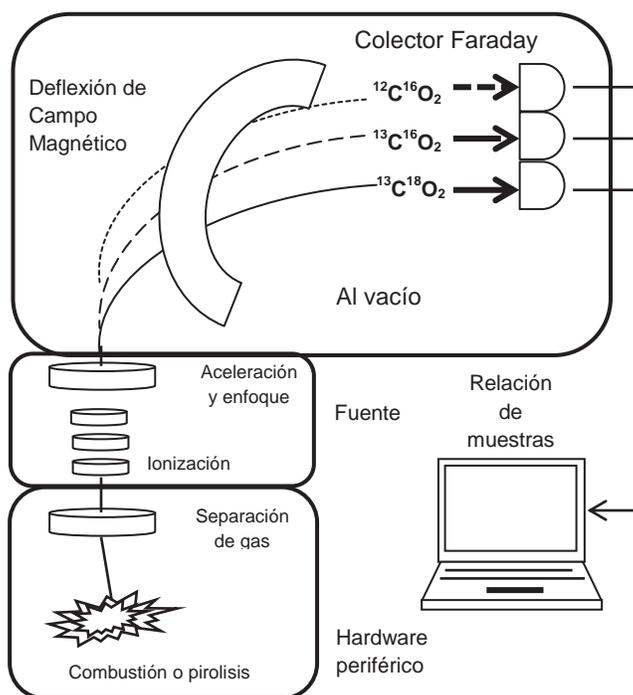


Figura 3. Esquema de la separación de las masas en un espectrómetro de masas.

El gas que contiene las moléculas isotópicas entra en la cámara de ionización donde se ioniza por bombardeo electrónico. Los iones positivos salen de la cámara de ionización y se aceleran mediante un voltaje (E). En el campo magnético perpendicular a la figura los iones ligeros y pesados isotópicamente se separan y recogen por los colectores (copas de Faraday). Al final de todo éste proceso nos encontramos con impulsos eléctricos que serán amplificados y medidos.

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los valores isotópicos obtenidos para cada muestra se vaciaron en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel (2007) y se ordenaron por código, nombre científico, nombre común, lugar de colecta, área, y valores de $\delta^{15}\text{N}$ ‰ y $\delta^{13}\text{C}$ ‰, seguidamente dichas muestras se agruparon según sus características biológicas y alimenticias, para efecto de encontrar relaciones entre ellos, obteniendo los siguientes grupos: A) Delfín, B) Manatí, C) Cocodrilo, D) Peces omnívoros, E) Peces carnívoros, F) Peces herbívoros, G) Crustáceos, H) Moluscos, I) Productores primarios y J) Materia Orgánica Particulada.

Para cada sitio de colecta (A y B) se tomaron tres muestras de cada especie y se agruparon las especies según el grupo descrito anteriormente, el grupo A se encontró solamente en Bahía de Chetumal, al igual que el grupo B, para el C se tuvo la presencia en Laguna Guerrero y Rio Hondo, mientras que para los grupos de D-F se obtuvieron en Bahía de Chetumal, Laguna Guerrero, Mahahual, Rio Hondo y Xcalak, el grupo G se encontró en la bahía y Rio Hondo, el H se encontró sólo en Mahahual, mientras que del grupo I se tomaron en cada área con excepción de Xcalak, el grupo J se obtuvo en Bahía de Chetumal y Mahahual.

El tejido analizado para las especies animales, correspondió piel y músculo en el caso de mamíferos acuáticos y peces respectivamente; para las especies vegetales se tomaron muestras de las hojas y de algas y pastos marinos.

Los tejidos mineralizados como el hueso, el esmalte dental y la dentina son usados con mayor frecuencia en los estudios históricos, arqueológicos o paleontológicos. Ya que éstos tejidos están compuestos por minerales, proteínas, y lípidos.

Para la determinación del nivel trófico para las especies muestreadas se usó la fórmula propuesta por Post (2002):

$$\text{Posición trófica (TL)} = [(\delta^{15}\text{N}_i - \delta^{15}\text{N}_{\text{ref}})/\Delta] + \lambda$$

Donde TL es el nivel trófico de las especies; $\delta^{15}\text{N}$ es la composición isotópica de la especie; $\delta^{15}\text{N}_{\text{ref}}$ es la composición isotópica de la especie usada como referencia, Δ corresponde al

fraccionamiento utilizado ($^{15}\text{N} = 3.4 \text{ ‰}$) y λ es el nivel trófico para la especie referencia. Se graficó el NT separado por ambientes (marino y dulce-salobre).

Finalmente con ayuda del programa SigmaPlot 10.0 se realizó el gráfico con todos los valores isotópicos obtenidos para cada especie colectada, para generar el modelo trófico. Se graficaron en un plano de coordenadas XY ($y = \delta^{15}\text{N}$ y $x = \delta^{13}\text{C}$) las medidas isotópicas, siendo este plano cartesiano una representación gráfica de los nichos ecológicos del ecosistema que se está analizando (Jackson-A. et al., 2011).

RESULTADOS

Se obtuvo un total de 159 muestras, 101 pertenecientes a la zona *A* (Bahía de Chetumal, Río Hondo y Laguna Guerrero), y 58 a la zona *B* (Xcalak y Mahahual) (Figura 4). La zona *A* se consideró como un ambiente dulce-salobre y la zona *B* como un ambiente marino.

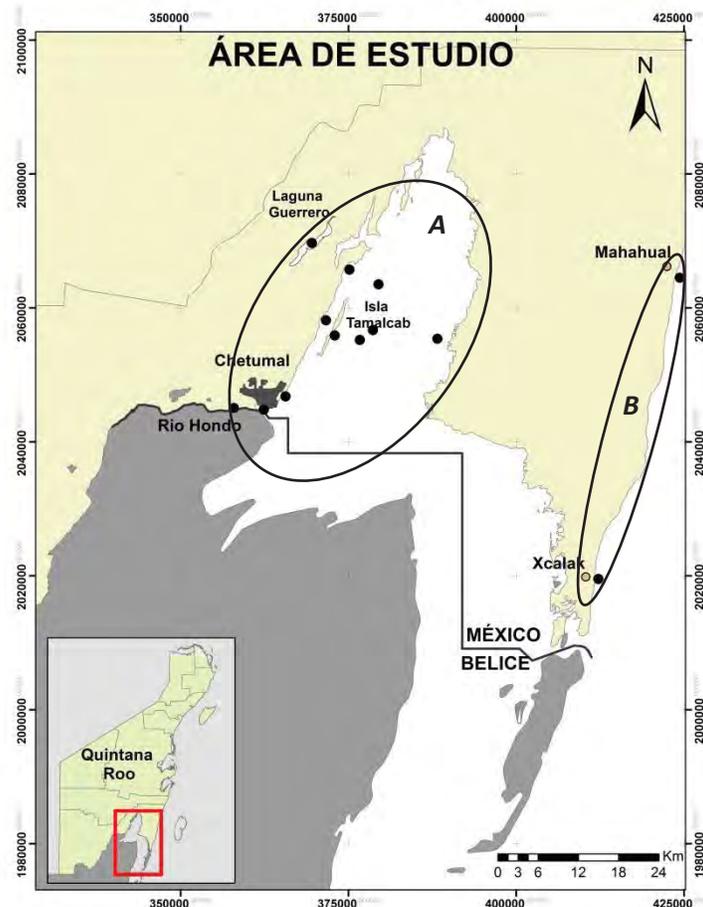


Figura 4. Área de estudio. Las muestras que representan la presencia de agua dulce-salobre se tomaron en Río Hondo (18 muestras), Laguna Guerrero (10 muestras) y Bahía de Chetumal (73 muestras) que incluye el interior de la misma y cercano a las islas de Tamalcab y Punta Flor, las muestras tomadas de un ambiente acuícola marino, se tomaron de Xcalak (36 muestras) y Mahahual (22 muestras).

Se obtuvieron 7 muestras de diferentes individuos de manatí (*T. manatus*), de los cuales 6 correspondieron a muestras de tejido epitelial (Tabla 1) y uno de tejido óseo (vértebra). En el caso de la tonina (*T. truncatus*) se obtuvieron 3 biopsias, tomadas en la Bahía de Chetumal (Tabla 2).

Tabla 1. Lista de varamientos de *T. m manatus* en la Bahía de Chetumal. Sexo M (Macho) y H (Hembra).

TABLA 1. LISTA DE VARAMIENTOS DE <i>T. m manatus</i>				
Fecha de la necropsia	Lugar de colecta	Longitud	Sexo	Comentarios
22-may-12	Bahía de Chetumal	2.5m	M	Biopsias de piel y músculo
18-jul-12	Bahía de Chetumal	2.8m	M	Biopsias de piel y músculo
17-dic-12	Bahía de Chetumal	3.0m	M	Biopsias de piel y músculo
23-ene-13	Bahía de Chetumal	2.5m	M	Biopsias de piel y músculo
25-feb-13	Bahía de Chetumal	2.6m	H	Biopsias de piel y músculo
28-feb-13	Bahía de Chetumal	2.8m	M	Biopsias de piel y músculo

Tabla 2. Lista de biopsias colectadas de *T. truncatus* en la Bahía de Chetumal.

TABLA 2. LISTA DE BIOPSIAS DE <i>T. truncatus</i>		
Fecha	Lugar de colecta	Comentarios
05-may-12	Bahía de Chetumal	Biopsias de piel
11-nov-12	Bahía de Chetumal	Biopsias de piel
11-nov-12	Bahía de Chetumal	Biopsias de piel

Para el cocodrilo de pantano (*Crocodylo moreletii*) se obtuvieron cinco muestras de individuos juveniles (Tabla 3).

Las muestras de peces se tomaron en su mayoría de la pesquería artesanal. Crustáceos y moluscos se tomaron de manera manual en campo.

Tabla 3. Lista de muestras colectadas de *C. moreletii* en Río Hondo.

TABLA 3. LISTA DE MUESTRAS DE <i>C. moreletii</i>				
Fecha	Lugar de colecta	Talla (m)	Sexo	Comentarios
13-ago-12	Río Hondo	1.0	M	Escamas
13-ago-12	Río Hondo	1.2	H	Escamas
19-sep-12	Río Hondo	0.9	M	Escamas
19-sep-12	Río Hondo	1.2	H	Escamas
19-sep-12	Río Hondo	1.0	M	Escamas

Origen trófico y nicho ecológico

Se encontró que existe una variación de $\delta^{13}\text{C}$ entre la composición isotópica de las especies muestreadas, en relación a los ambientes acuáticos en los que se desarrollaron.

Para las muestras tomadas en la zona A (Bahía de Chetumal y cuerpos de agua aledaños), se encontró que los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ ‰ son más negativos que para la zona B, fluctuando entre -12 ‰ y -25 ‰, y entre 2.96 ‰ y 13.99 ‰ para $\delta^{15}\text{N}$ ‰ (Tabla 4, Figura 5).

Tabla 4. Valores isotópicos promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para las muestras de la zona A.

Nombre científico	Nombre común	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	$\delta^{13}\text{C}$ ‰
<i>Caranx hipos</i>	Jurel	11.10	-13.91
<i>Tursiops truncatus</i>	Tonina	13.99	-10.47
<i>Trichechus manatus</i>	Manatí antillano	5.20	-10.24
<i>Guerres cinereus</i>	Mojarra aleta amarilla	11.73	-10.75
<i>Ariopsis assimilis</i>	Bagre	12.26	-12.46
<i>Batophora</i>	Batófora	4.56	-23.94
<i>Bryothamnion triquetrum</i>	Alga roja	0.46	-14.80
<i>Isopodos</i>	Cochinilla de agua	8.19	-19.07
<i>Rizophora mangle</i>	Mangle rojo	2.96	-27.94
<i>Penicillus capitatus</i>	Alga penicilus	6.97	-21.80
<i>Ucides occidentalis</i>	Cangrejo	9.45	-22.20
<i>Crocodylus moreletii</i>	Cocodrilo de pantano	9.03	-25.48
<i>Thalassia testudinum</i>	Pasto talasia	3.00	-25.88
<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle blanco	4.09	-27.16

En la tabla 5 y figura 5 se presentan valores de $\delta^{13}\text{C}$ para algunas de las especies colectadas en la zona B, donde sus valores varían de -1.06‰ a -18.30‰ (Tabla 5), (mínimo y máximo) y en $\delta^{15}\text{N}$ fueron de -3.06‰ a 8.54‰ .

Tabla 5. Valores isotópicos promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para especies muestreadas en la zona B.

Nombre científico	Nombre común	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$
<i>Ophiothrix fragilis</i>	Ofiuero	3.97	-1.06
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	Alga burbuja verde	-0.20	-1.17
<i>Pseudopterogorgia sp</i>	Coral blando	-3.06	-5.47
<i>Pagurus bernhardus</i>	Caracol ermitaño	4.90	-12.25
<i>Thalassia testudinum</i>	Pasto talasia	-0.93	-9.37
<i>Penicillus capitatus</i>	Alga	1.54	-10.46
<i>Ocyurus chrysurus</i>	Pargo	8.15	-11.69
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	Pez cabeza azul	8.54	-13.01
<i>Polyplacophora</i>	Poliplacóforo	4.02	-14.13
<i>Abudefduf saxatilis</i>	Pez sargento	6.89	-14.22
<i>Sargassum sp</i>	Sargazo	-1.80	-18.30

En la figura 5 se puede observar que los puntos negros pertenecen a la zona B (Xcalak y Mahahual) con valores más positivos para $\delta^{13}\text{C}$, mientras que los puntos blancos representan la zona A (Laguna Guerrero, Rio Hondo y Bahía de Chetumal) con valores más negativos en $\delta^{13}\text{C}$.

Los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ para el manatí antillano y la tonina tomados en la zona A, tienen valores más negativos que el resto de las muestras colectadas en la misma zona, los cuales están entre -8.65‰ , y -12.09‰ , similar a los valores obtenidos en la zona B (Figura 5). Para el cocodrilo de pantano se obtuvieron valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 8.30‰ y 11.00‰ .

Por otro lado, los valores obtenidos para $\delta^{15}\text{N}$ en los productores primarios de la zona B comienzan con valores por debajo de cero. Se observa que en el caso de las muestras tomadas de la zona A, los resultados obtenidos para los productores primarios tienen valores por arriba de cero (Figura 5).

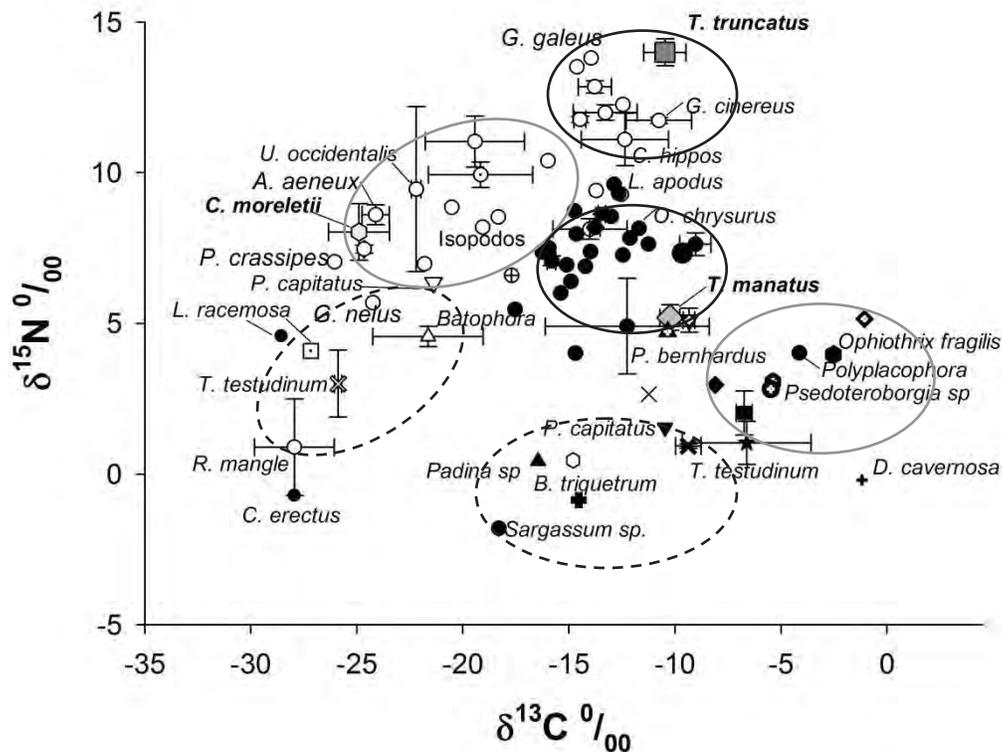


Figura 5. Modelo trófico isotópico para la Bahía de Chetumal y el área marina entre Mahahual e Xcalak. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para las especies muestreadas. Puntos blancos: la zona A; puntos negros: zona B. Círculos con línea punteada: productores primarios, círculos con línea gris: consumidores primarios, círculo con línea continua: consumidores secundarios.

Tanto en el ambiente A, como en el B se tiene la presencia de *T. testudinum*, y *P. capitatus*, sin embargo se obtuvieron valores isotópicos diferentes entre sí, teniendo para las muestras de la zona A, valores en $\delta^{15}\text{N}$ de 3.00‰ y 6.97‰ respectivamente, mientras que para la zona B los valores fueron de 0.93‰ y 1.54‰ para cada una de estas especies. De igual manera tenemos que para $\delta^{13}\text{C}$ los valores isotópicos varían considerablemente; dentro de la zona A *T. testudinum* presentó -25.88‰ y -21.80‰ para *P. capitatus*, que son valores más altas que los obtenidos para la zona B, -9.37‰ y -10.46‰ respectivamente. De ésta manera se observan para ambos casos que el origen de la red trófica tiene valores diferentes según el ambiente acuático en que se encuentren.

Niveles tróficos (NT)

En la tabla 6 se presentan los niveles tróficos obtenidos para las especies colectadas en Bahía de Chetumal. La red trófica tiene su primer nivel trófico con los productores primarios que tienen valores de $\delta^{15}\text{N}$ superiores a 0.46 ‰, mientras que el nivel más alto se obtuvo para la tonina con valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ igual a 13.99 ‰.

Tabla 6. Niveles tróficos obtenidos para algunas especies del ecosistema de Bahía de Chetumal.

Muestras	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	NT
<i>R. mangle</i>	2.96	1.0
<i>T. testudinum</i>	3.00	1.0
<i>Batophora</i>	4.56	1.0
<i>L. racemosa</i>	4.09	1.0
<i>B. triquetrum</i>	0.46	1.0
<i>T. manatus</i>	5.20	2.2
<i>G. nelus</i>	5.68	2.1
<i>L. pallasi</i>	6.58	2.3
<i>Isopodos</i>	8.19	2.6
<i>L. lithophaga</i>	8.88	2.7
<i>A. aeneux</i>	8.60	2.5
<i>C. moreletii</i>	9.03	3.0
<i>A. vulpes</i>	9.47	2.6
<i>U. occidentalis</i>	9.45	2.6
<i>C. sapidus</i>	9.74	2.8
<i>V. synspila</i>	11.02	3.6
<i>C. hipos</i>	11.10	3.1
<i>G. cinereus</i>	11.73	3.4
<i>Haemulidon sp.</i>	11.76	3.3
<i>A. assimilis</i>	12.26	3.5
<i>M. atlanticus</i>	13.51	3.8
<i>G. galeus</i>	13.80	3.9
<i>T. truncatus</i>	13.99	3.9

En la Figura 6 se muestra el modelo trófico obtenido para la Bahía de Chetumal así como el nivel trófico para las especies colectadas, indicando su posición en la red trófica de la bahía, de acuerdo a los valores obtenidos en $\delta^{15}\text{N}$ ‰ y $\delta^{13}\text{C}$ ‰.

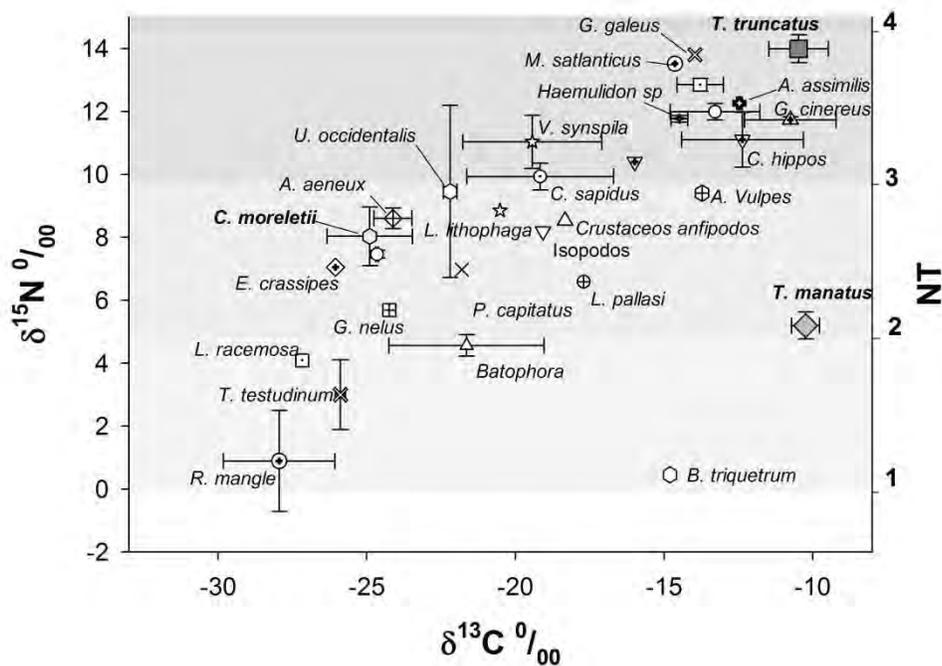


Figura 6. Modelo trófico para la Bahía de Chetumal y niveles tróficos para las especies muestreadas. Las bandas grises representan los niveles tróficos (NT), cada banda representa 3.4 ‰ con respecto al eje Y, obteniendo así 4 bandas que van en orden ascendente, resultando del NT1 al NT4.

Fraccionamiento isotópico

En las Tablas 7, 8 y 9 se muestran el fraccionamiento isotópico calculado para el manatí antillano, la tonina y el cocodrilo de pantano (media de la especie focal – media de la posible dieta).

En la Tabla 7 se puede observar el fraccionamiento isotópico calculado para el manatí y unas especies de algas y pastos marinos colectados en diferentes zonas (A y B).

Tabla 7. Fraccionamiento isotópico calculado de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) entre *T. manatus* y algas y pastos marinos de dos ambientes, dulce-salobre (A) y marino (B).

Fraccionamiento calculado de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ con respecto a <i>T. manatus</i>				
	5.19 ‰ <i>T. manatus</i>		-10.24 ‰ <i>T. manatus</i>	
Muestra	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Fraccionamiento calculado	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	Fraccionamiento calculado
<i>B. triquetrum</i> (A)	0.46	4.74	-14.80	4.55
<i>T. testudinum</i> (A)	3.00	2.19	-25.88	15.64
<i>T. testudinum</i> (B)	0.93	4.25	-9.37	0.87
<i>P. capitatus</i> (A)	6.97	-1.78	-21.80	11.56
<i>P. capitatus</i> (B)	1.54	3.65	-10.46	0.22

Se observa que el fraccionamiento isotópico calculado de $\delta^{15}\text{N}$ para el manatí antillano con *P. capitatus* (B) fue de 3.65 ‰ mientras que para *P. capitatus* (A) se obtuvo -1.78 ‰, con *T. testudinum* (B) fue de 4.25 ‰ y para *T. testudinum* (A) fue de 2.19 ‰, se encontraron diferencias entre sí. Por otro lado los resultados del fraccionamiento isotópico calculado para $\delta^{13}\text{C}$ tuvieron variaciones similares a los de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$), los valores más cercanos a cero corresponden a *P. capitatus* (0.22 ‰) y *T. testudinum* (0.87 ‰) del ambiente costero (B), y las del ambiente dulce (A) tienen valores de 11.56 ‰ y 15.64 ‰ respectivamente (Figura 7a).

El fraccionamiento promedio calculado para *T. manatus* en relación a *B. triquetrum* es de 4.74 ‰ en $\delta^{15}\text{N}$ ‰ y 4.55 ‰ en $\delta^{13}\text{C}$.

En la Tabla 8 y la figura 8 se muestran las especies tomadas de ambos ambientes acuáticos que se estimaron como posible dieta de la tonina. Se observa el fraccionamiento calculado para $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de *T. truncatus* con respecto a los valores isotópicos de tres especies diferentes.

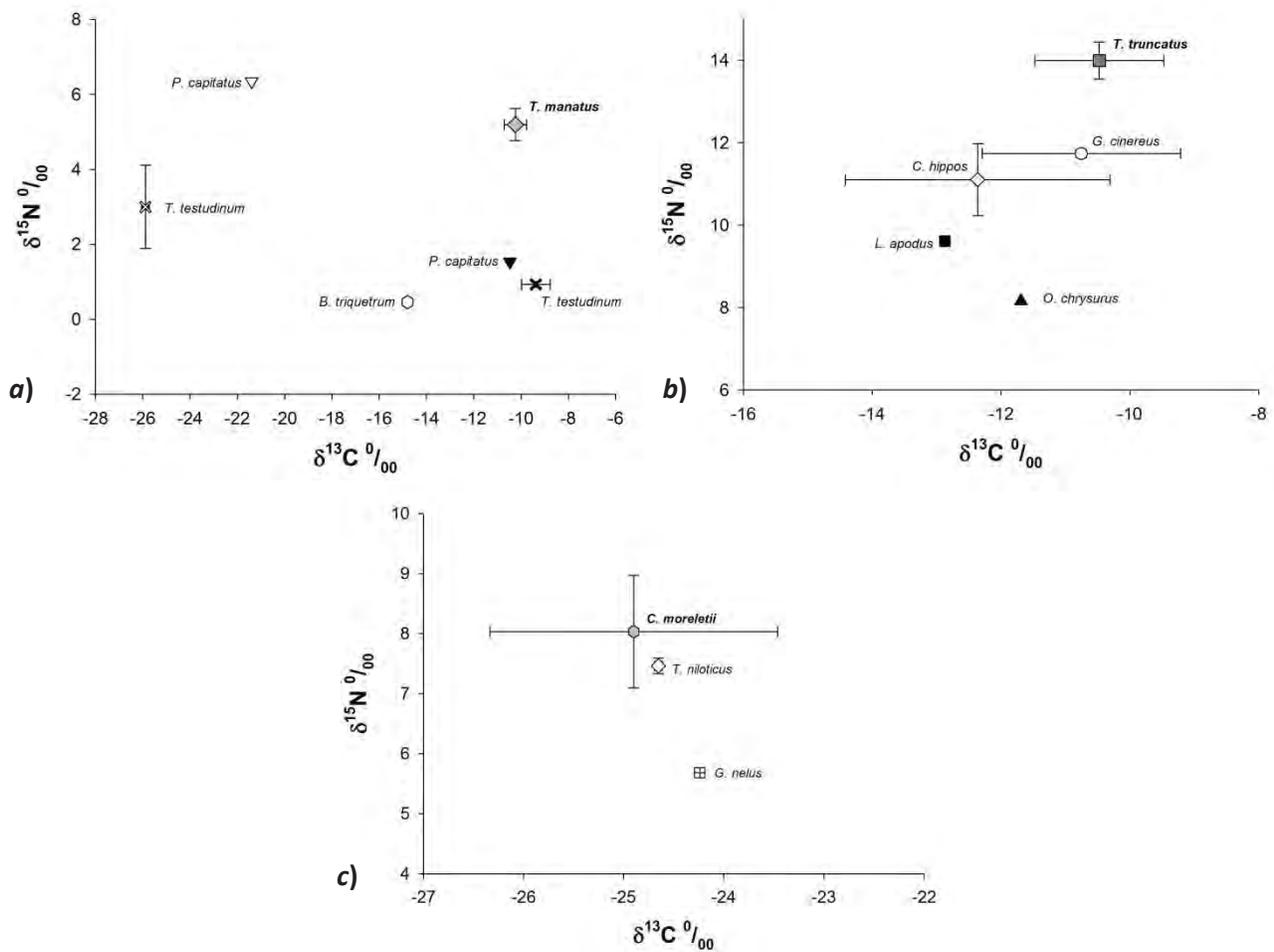


Figura 7. a) Fraccionamiento isotópico calculado para *T. manatus* y *T. testudinum*, *B. triquetrum* y *P. capitatus*. **b)** Fraccionamiento isotópico calculado para *T. truncatus* y *C. hippos*, *G. cinereus*, *L. apodus* y *O. chrysurus*. **c)** Fraccionamiento isotópico calculado para *C. moreletii* y *T. niloticus* y *G. nelus*. Puntos blancos: zona A. Puntos negros: Zona B.

El fraccionamiento isotópico calculado de $\delta^{15}\text{N}$ para *T. truncatus* en relación con, *L. apodus* (B) es de 4.38‰ , *G. cinereus* (A) obtuvo 2.90‰ , para *C. hippos* (A) un valor de 2.89‰ , y para *O. chrysurus* fue de 5.84‰ , se encontró que las especies que tienen un fraccionamiento calculado cercano a 3.4‰ para $\delta^{15}\text{N} \text{‰}$ son *C. hippos*, *G. cinereus* y *L. apodus*. En el caso del $\delta^{13}\text{C} \text{‰}$ las cuatro especies tuvieron valores cercanos a cero, *L. apodus* (B) tuvo 2.40‰ , *C. hippos* (A) 2.89‰ , y los valores más bajos fueron para *G. cinereus* (A) 1.88 , sin embargo *O. chrysurus* (B) obtuvo 1.22‰ (Figura 7b).

Tabla 8. Fraccionamiento isotópico calculado de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) entre *T. truncatus* y las muestras de peces colectados de dos ambientes, dulce-salobre (A) y marino (B).

Fraccionamiento calculado de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ con respecto a <i>T. truncatus</i>				
	13.99 ‰ <i>T. truncatus</i>		-10.47 ‰ <i>T. truncatus</i>	
Muestra	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Fraccionamiento calculado	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	Fraccionamiento calculado
<i>G. cinereus</i> (A)	11.73	2.90	-10.75	1.88
<i>C. hippos</i> (A)	11.1	2.89	-12.36	1.89
<i>L. apodus</i> (B)	9.61	4.38	-12.87	2.40
<i>O. chrysurus</i> (B)	8.15	5.84	-11.69	1.22

Tabla 9. Fraccionamiento isotópico calculado de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) para *C. moreletii* y las muestras de especies colectadas en un ambiente dulce (A).

Fraccionamiento calculado de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ con respecto a <i>C. moreletii</i>				
	9.03 ‰ <i>C. moreletii</i>		-25.48 ‰ <i>C. moreletii</i>	
Muestra	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Fraccionamiento calculado	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	Fraccionamiento calculado
<i>T. niloticus</i> (A)	7.46	1.57	-24.65	0.83
<i>G. nelus</i> (A)	5.68	3.35	-24.24	1.24

El fraccionamiento isotópico calculado para el cocodrilo de pantano en relación a *T. niloticus* y *G. nelus* en $\delta^{15}\text{N}$ ‰ (Tabla 9, Figura 7c) muestran que la especie que más se acerca al fraccionamiento isotópico de 3.4 ‰ es *G. nelus* con 3.35 ‰, y en el caso del $\delta^{13}\text{C}$ ambos tienen valores cercanos a cero. Las muestras fueron colectadas en Rio Hondo al igual que el *C. moreletii*.

DISCUSIÓN

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ que se obtuvieron para las muestras, indican que existe una diferencia isotópica marcada entre las dos zonas que se colectaron; la zona A (agua dulce/salobre) con valores que varían entre -12‰ a -25‰ , los productores primarios (algas y pastos marinos) mostraron valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$, mientras que para la zona B (ambiente marino/costero) los valores variaron de -1.06‰ a -18.30‰ , mostrando valores más altos de $\delta^{13}\text{C}$ para los productores primarios. Lo anterior coincide con estudios donde ambientes sustentados por plantas de agua dulce presentan valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$, mientras que los ecosistemas marinos/costeros presentan valores más altos enriquecidos en ^{13}C (Alves-Stanley, et al., 2010), lo anterior se debe a que las plantas acuáticas incorporan carbono a partir del carbono inorgánico disuelto (CID), el CID incorporado en plantas de agua dulce es reducido en ^{13}C en comparación con las plantas que habitan en ambientes acuáticos marinos, resultado de la discriminación isotópica que se lleva a cabo en la conversión de CO_2 en bicarbonato y la contribución de descomposición de la materia orgánica (Newsome, et al., 2010).

Niveles tróficos (NT)

La red trófica de la Bahía de Chetumal comienza sus NTs con valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 0.45‰ y 4.55‰ , para los productores primarios (NT=1.0), y alcanza su NT más alto con 3.9 con valores entre 13.45‰ y 14.88‰ , que corresponde a la tonina (Tabla 10). Esto concuerda con los valores obtenidos por Alves-Stanley et al. (2010), para plantas acuáticas en Belice, en una zona similar al de la bahía, donde se obtuvieron resultados entre 2.60‰ hasta 10.30‰ .

Al comparar las algas y pastos marinos (*T. testudinum*, *P. capitatus*, *Sargaso*, sp) colectadas en la zona A y B, se encontró que los productores primarios de la zona B presentaban valores más negativos de $\delta^{15}\text{N}$, que para la zona A (enriquecidos en ^{15}N), lo que nos indica que las mismas especies en ambientes diferentes pueden variar en sus

valores de $\delta^{15}\text{N}$. Lo anterior concuerda con un estudio realizado por Fogel et al. (Fogel, et al., 2008), donde si bien las especies colectadas no fueron las mismas del presente trabajo, se realizó con especies de mangle colectados en las costas de Florida y Belice, los cuales presentaron valores enriquecidos en ^{15}N , en comparación con especies de mangle colectadas en agua dulce con valores por debajo de cero, y por su parte las plantas estuarinas tuvieron valores intermedios, similares a los obtenidos para las mismas especies en Bahía de Chetumal. Se reconoce que el crecimiento en especies adaptadas a la vida en ecosistemas salobres y salados (como los manglares) puede verse limitado por la disponibilidad de N y P, o ambos, de manera que estas limitaciones tienen efectos sobre la composición isotópica de las plantas según el ambiente donde se desarrollan (Fogel, et al., 2008). De igual manera concuerda con los resultados obtenidos por Stanley et al. (2010) en donde todos los pastos marinos tuvieron valores más negativos de $\delta^{15}\text{N}$ en comparación con los de agua dulce y de vegetación estuarina, mientras que entre la vegetación de agua dulce y la vegetación del estuario no se encontraron diferencias.

Tabla 10. Niveles tróficos comparados.

Muestras	Castelblanco (2011)	Presente trabajo
Productores primarios	1.0	1.0
Peces herbívoros	2.1	2.3
<i>T. manatus</i>	2.0	2.2
Crustáceos	2.7	2.7
Peces carnívoros	3.4	3.3
Peces omnívoros	3.1	3.3
Moluscos	2.0	2.2
<i>C. moreletii</i>	--	3.0
<i>T. truncatus</i>	3.9	3.9

Como se esperaba, para el manatí antillano se obtuvo un nivel trófico de 2.2, similar a lo reportado por Castelblanco et al. (2011) con un NT de 2.0 y por Alves-Stanley et al. (2010)

quienes mencionan valores de $\delta^{15}\text{N}$ de 1.5 ‰ a 4.1 ‰ obtenidos para el manatí y su posible dieta de -0.6 ‰ (NT calculado: 2.0).

En el caso del cocodrilo de pantano, se obtuvo un NT de 3.0 (Tabla 10), si bien no hay estudios que describan el NT para el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), se tiene registro de tres estudios de isótopos estables llevados a cabo con reptiles, como el realizado por Rosenblatt y Herthaus (2011) con el lagarto americano (*Alligator mississippiensis*), con caimanes (*Caiman latirostris*) por Caut (2013), y por Shneider et al. (2013) con el lagarto americano (*Alligator mississippiensis*) quienes mencionan que ocupa un NT de 3.3 y 2.7 para adulto y juvenil respectivamente. Se esperaba obtener un nivel trófico mayor, sin embargo las muestras colectadas fueron de cocodrilos juveniles, que apenas alcanzaban un metro de longitud, lo cual podría estar influenciando por el consumo de especies con NT relativamente bajos como peces herbívoros y crustáceos pequeños (Caut, 2013), a diferencia de cocodrilos de tallas mayores, que probablemente se alimenten de presas de mayor tamaño y por ende presenten niveles tróficos más altos.

El nivel trófico obtenido en el presente estudio para la tonina (*Tursiops truncatus*) fue de 3.9, similar a lo reportado por diferentes autores, como Castelblanco et al. (2011), quienes reportan un NT de 3.9 (Tabla 10) para esta misma especie en nuestra área de estudio. Pauly et al. (1998), obtuvieron un NT de 4.2, Vidal et al. (2003) mencionan un NT de 3.8 en Bahía de la Ascensión, Quintana Roo y Kaschner et al. (2004) reportan un NT de 4.7 para *T. truncatus* en el mar mediterráneo, de igual manera se reconocen NTs similares para otras especies de delfines como el común de rostro largo *Delphinus capensis* entre 3.8 y 4.1 en el Golfo de California (Niño-Torres, et al., 2006).

El NT que se obtuvo para los grupos funcionales en el presente estudio (Tabla 10) fueron consistentes con lo reportado por Castelblanco et al. (2011) en el área de estudio y por Vidal y Basurto (2003) en Bahía de la Ascensión, si bien los grupos funcionales empleados por los autores varían, se encontraron similitudes con los involucrados en el presente estudio, de igual manera se encontraron NTs similares para especies de peces en una guía básica en línea (www.fishbase.com). Para el grupo D se obtuvo un NT de 3.3 (Castelblanco: 3.1; Vidal: 3.3), 2.9 para el grupo E (Castelblanco: 3.4; Vidal: 3.2), 2.3 para el grupo F (Castelblanco: 2.1; Vidal: 2.8), para el grupo G fue de 2.8 (Castelblanco: 2.7;

Vidal: 2.9), el grupo H obtuvo un NT de 2.2 (Castelblanco: 2.0; Vidal: -), y para el grupo I y J se asignó un NT de 1 (Castelblanco: 1; Vidal: 1).

Fraccionamiento isotópico

El fraccionamiento isotópico calculado para las especies focales del presente estudio tuvieron valores diferentes entre sí. Lo anterior se debe a que el fraccionamiento isotópico varía entre especies, como es el caso del presente estudio, entre mamíferos marinos y el cocodrilo de pantano, además los valores del fraccionamiento isotópico puede variar como resultado de diversos factores como la tasa del crecimiento, su calidad nutricional entre otras (Newsome, et al., 2010).

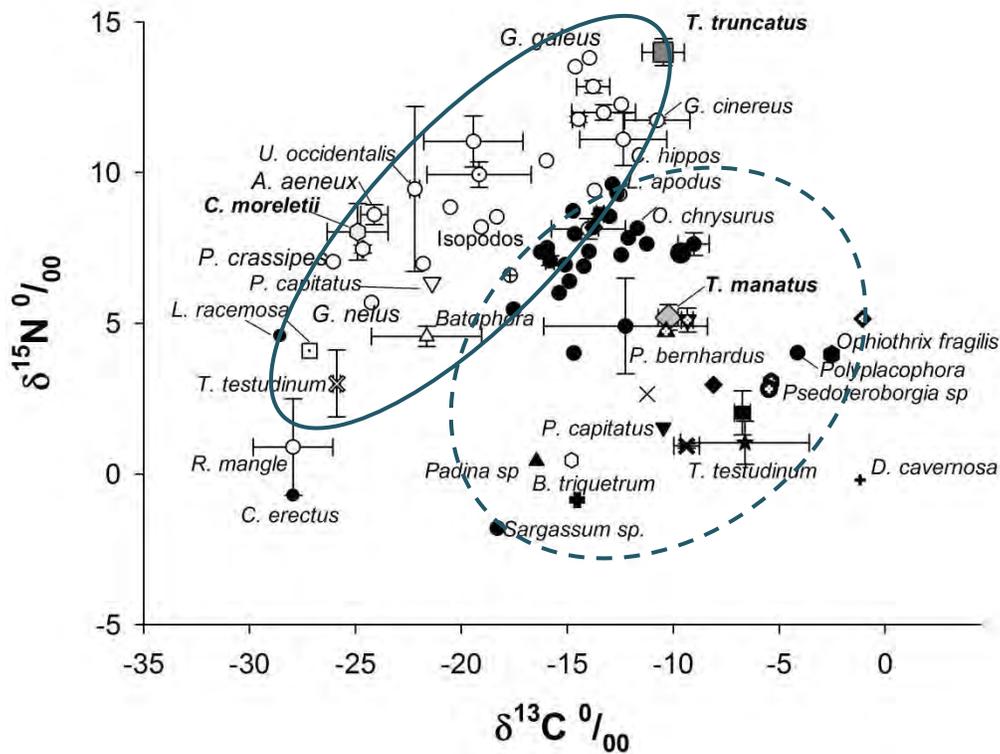


Figura 8. Relación entre $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$. Los puntos blancos corresponden a las muestras tomadas en el ambiente A (círculo con línea continua), y los puntos negros corresponden al ambiente B (círculo con línea punteada). *T. truncatus* y *T. manatus* se encuentran influenciados por ambos ambientes. Los círculos representan éstos ambientes.

Dieta del manatí antillano a partir de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$

Los resultados que se obtuvieron de $\delta^{13}\text{C}$ para el manatí antillano son similares a los valores obtenidos para las especies muestreadas en el ambiente marino y por ende distintos a valores reportados para especies del ambiente dulce/salobre. Lo anterior indica que posiblemente el manatí antillano se alimenta preferencialmente en estos ambientes marino-costeros en vez de ambientes dulce/salobres. Manatíes muestreados en la Bahía de Chetumal han sido rastreados desde las costas de Belice, llegando incluso a las costas de Honduras (Morales-Vela & Olivera-Gómez, 1994; Castelblanco, 2010; Olivera-gómez & Mellink, 2002), recientemente se realizó un estudio sobre la distribución del manatí basado en telemetría y reportó dos modelos diferentes de movimiento, uno de permanencia en el área y otro en el que recorren hasta 240 km en 89 días (Castelblanco-Martínez, et al., 2013), sin embargo, algunos autores han mencionado a la Bahía de Chetumal como una de las áreas principales de crianza y alimentación de esta especie en el Caribe (Castelblanco, et al. 2011), debido a lo anterior, en el presente trabajo se sugieren dos hipótesis, una en la cual la alimentación principal de estos organismos se presenta fuera de la Bahía y no en esta, y otra en la que existen dos grupos de manatíes, uno que vive permanentemente en Bahía de Chetumal y otro que entra y sale de ella, por lo que esta hipótesis deberá ser evaluada en trabajos futuros.

Los datos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en el presente estudio sugieren que el manatí antillano se está alimentando principalmente de algas y pastos de zonas marinas como *Bryothamnion triquetrum*, *Thalasia testudium* y *Penicillium capitatus* (Figura 7a), esto coincide con lo que proponen varios autores como Alves-Stanley et al. (2010), en el cual se encontró una relación alimentaria entre el manatí y algas como *Althernantera philoxeroides*, *Pistia stratiotes*, plantas estuarinas y marinas como *Chara sp*, *Hydrilla verticillata*, *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, en ecosistemas similares al de Bahía de Chetumal, y con lo propuesto por Castelblanco et al. (2011) quienes mencionan que en la Bahía de Chetumal el manatí se alimenta principalmente de *Batophora spp*, *T. testudinum*, *Chara sp*. Sin embargo, difiere de este estudio ya que también sugiere que se alimenta de especies de mangle como *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* y los

valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en el presente trabajo claramente muestran que éstos y el manatí antillano se encuentran en redes tróficas diferentes (Figura 7a), este resultado se puede deber a que el estudio de Castelblanco et al. (2011) se basó en contenidos estomacales los cuales reflejan su alimentación momentos antes de su muerte. Es probable que el manatí no consuma una cantidad de mangle lo suficientemente grande como para que ésta se vea reflejada en una integración isotópica larga.

De acuerdo a lo anterior, el fraccionamiento isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ calculado para el manatí antillano y sus posibles presas (algas y pastos marinos) fluctuó entre 0.22 ‰ a 0.87 ‰ (mínimo-máximo) (Fig. 7a, Fig. 8), similar a lo propuesto por Caut et al. (2009), quienes sugieren que el fraccionamiento isotópico en $\delta^{13}\text{C}$ en mamíferos oscila alrededor de $0.75 \text{ ‰} \pm 0.11 \text{ ‰}$. El fraccionamiento isotópico de $\delta^{15}\text{N}$ calculado se ubicó entre 3.65 ‰ y 4.25 ‰, similar a lo que se sugiere en la bibliografía, alrededor de $\approx 3.4 \text{ ‰}$ (Newsome, et al., 2010; Post, 2002).

Dieta de la tonina a partir de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$

Si bien existen trabajos acerca de la amplia distribución de las toninas, se reconoce a esta especie como una especie cosmopolita (Barragan-Barrera, 2010), no se tiene información suficiente acerca de las toninas en Bahía de Chetumal, únicamente lo reportado por Castelblanco et al. (2011) sobre su NT y por Zacarías (1992) sobre su distribución en el Mar Caribe.

El fraccionamiento isotópico de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ calculado entre la tonina y *O. chrysurus*, *C. hippos*, y *G. cinereus* (peces carnívoros y omnívoros), sugieren que estos son parte de la dieta de *T. truncatus*. Sin embargo pudieran haber otras especies que formen parte de la dieta de las toninas, y que no fueron muestreadas en el presente trabajo, ya que en la Bahía de Chetumal se tiene la presencia de una gran variedad de peces, 188 especies de elasmobranquios y peces (Schmitter-Soto et al., 2009).

Las toninas en la Bahía de Chetumal presentaron el nivel trófico más alto (3.9) del presente estudio (Tabla 10), lo que concuerda con lo reportado por Castelblanco et al. (2011) quienes obtuvieron el mismo nivel trófico para la especie (3.9) en nuestra área de estudio. La tonina como muchos mamíferos marinos, se encuentran en el tope de la red trófica (Pauly, et al., 1998).

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ encontrados en la tonina, sugieren que esta especie se alimenta de presas tanto de un ambiente salobre como de un ambiente costero (Figura 7b). Lo que nos podría indicar que las toninas habitan en aguas donde encuentren las condiciones necesarias para alimentarse (Kaschner, et al., 2004; Niño-Torres, et al., 2011). Esto hace pensar al menos tres posibles explicaciones, que podrían ser mutuamente no-exclusivas:

1. Toninas residentes que salen de la bahía a comer: Aunque los trabajos sobre *T. truncatus* en la bahía son escasos, algunos autores sugieren que la presencia de las toninas es permanente en el área de estudio (Olivera-gómez & Mellink, 2002). Sin embargo existen algunos registros de grupos residentes que se mueven influenciados por las mareas, que llevan gran cantidad de peces, y las toninas aprovechan estas mareas para alimentarse y eventualmente regresan a su hábitat, desarrollando una conducta de tipo oportunista (Acevedo, 1991). Es posible que los grupos de toninas que se encuentran en la bahía se desplacen a mar abierto en busca de alimento, y después regresen, de manera que su alimentación este influenciada por dos ambientes acuáticos. Vásquez y colaboradores (2007) mencionan que estas especies pueden cambiar su preferencia de hábitat dentro de una escala semanal.
2. Grupos residentes se alimentan de peces que entran a la Bahía de Chetumal: Olivera y Mellink (2002) sugieren que la presencia de las toninas es permanente en el área de estudio. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ que se obtuvieron para peces considerados como consumidores terciarios (*Caranx hippos*, *Guerres cinereus*, *Osyurus chrysurus*, *Lutjanus apodus*) en el área de estudio, fueron cercanos a los valores obtenidos para las especies colectadas en el ambiente marino; esto podría indicar que hay peces (*Lutjanus* spp., *Haemulon* spp., *Gerres cinereus*, *Albula vulpes*, *Mugil cephalus*) que vienen del mar Caribe al interior de la bahía. Medina-Quej et al. (2009) mencionan

que algunos peces en verano y otoño, se agrupan y forman cardúmenes para llevar a cabo migraciones hacia el sur, saliendo hacia el mar Caribe, y en estas mismas fechas, durante las temporadas de lluvias los peces que no toleran bajas salinidades, migran hacia aguas más salinas, y posteriormente regresan; en este sentido se reconoce a la Bahía de Chetumal como un ecosistema donde anidan una gran cantidad de especies (Medina-Quej, et al., 2009; Espinoza-Ávalos, et al., 2009); debido a lo anterior no se descarta la idea de que las toninas se estén alimentando de esos peces provenientes de un ambiente marino y que esto se vea reflejado en la composición isotópica de *T. truncatus*.

3. Existen dos grupos, uno permanente y otro eventual: durante los recorridos al interior de la bahía en el presente trabajo, se visualizaron grupos de toninas que se mantenían separadas, es posible que fueran grupos diferentes, sin embargo son necesarios más estudios acerca de la distribución de *T. truncatus* en el área. Zacarías (Zacarías-Araujo, 1999) menciona que las toninas en las bahías de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an son grupos transeúntes que viajan entre Chetumal y Holbox. Se sabe de otros trabajos en los cuales se analizaron dos grupos de la misma especie en dos zonas diferentes como Vázquez et al. (2007) en Veracruz, donde se encontraron grupos de toninas costeras al igual que grupos de toninas oceánicas en ecosistemas similares. Por su parte Baracho et al. (2007) mencionan que las toninas de las costas de Brasil donde se tiene la presencia de grupos aparentemente residentes, se reportan dos eco-tipos diferentes, toninas costeras y toninas oceánicas.

Desafortunadamente, el alcance del presente trabajo no permite llegar a corroborar las hipótesis anteriores por lo que se recomienda hacer estudios futuros de foto identificación en el área de estudio, complementados con un análisis de isótopos estables entre las toninas y peces fuera y dentro de la bahía, de igual manera se pueden realizar análisis de contenidos estomacales cuando sea posible, y grabaciones acústicas. Otros métodos para estudiar la alimentación de *T. truncatus* es por medio de marcas satelitales para descartar o confirmar las hipótesis 1 y 3 del presente estudio.

Dieta del cocodrilo de pantano a partir de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$

Los cocodrilos son conocidos por ser depredadores con una amplia variedad de presas en la dieta (Caut, 2013; Radloff, et al., 2012), usualmente se cree que tienen un nivel trófico (NT) alto, sin embargo la información que se tiene acerca de los cocodrilos y en especial del cocodrilo de pantano en el área de estudio es poca. Shneider et al. (2013) mencionan que el lagarto americano (*Alligator mississippiensis*) ocupa un NT de 3.3 en adultos y 2.7 para individuos juveniles. Debido a que la talla de los cocodrilos muestreados en el presente trabajo fue menor a 1 m (juveniles), su dieta pudo haber estado conformada por peces de tamaño pequeño, lo cual se vería reflejado en el NT calculado (NT: 3.0) (Caut, 2013). Aunado a esto, se reconoce que el fraccionamiento isotópico del isótopo estable de N puede estar influenciado por las tasas de crecimiento de los organismos, siendo ésta mayor en cocodrilos juveniles que en adultos (Caut, 2013).

Se ha reportado un enriquecimiento en ^{15}N de 2.5 ‰, para juveniles del caimán (*Caiman latirostris*) respecto a su dieta (Caut, 2013). Basándose en lo anterior, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en el presente estudio sugiere que el cocodrilo de pantano se alimenta de presas como *T. niloticus* con fraccionamientos calculados de 1.57 ‰ y 0.83 ‰ para $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ respectivamente, otras especies que pudieran encontrarse dentro de la alimentación del cocodrilo de pantano pueden ser peces de mayor tamaño (carnívoros u omnívoros). El fraccionamiento isotópico bajo encontrado en el presente estudio puede deberse a que el fraccionamiento en animales que excretan amoníaco es menor que en aquellos que excretan urea (Vanderklift & Ponsard, 2003; Newsome, et al., 2010). Caut (2013) encontró que el cocodrilo de pantano produce amoníaco y ácido úrico. Otra razón se puede deber a que son jóvenes de rápido crecimiento, mientras más alta es la tasa de crecimiento del depredador, más alta es la similitud isotópica entre este y su presa, traduciéndose en un fraccionamiento bajo.

Cabe notar que el presente estudio es el primero en mencionar el NT para el *C. moreletii* en la región. Por lo que se sugiere realizar más estudios sobre la ecología trófica del cocodrilo de pantano, ya que la información que se tiene es muy escasa e insuficiente para esta especie.

CONCLUSIONES

- El análisis de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ indica que el manatí antillano se alimenta principalmente de algas y pastos marinos como *B. triquetrum*, *T. testudium* y *P. capitatus* similar a lo reportado por otros estudios.
- El análisis de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ indicó que la tonina se alimenta preferentemente de consumidores secundarios y terciarios, en los que se incluyen peces carnívoros y omnívoros.
- De acuerdo a las señales isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ se observa que la alimentación del manatí antillano es llevada a cabo principalmente en un ambiente marino/costero y no en uno dulce/salobre como la Bahía de Chetumal.
- La dieta de la tonina está influenciada por presas de ambientes dulce/salobres y ambientes marinos.
- La red trófica de la Bahía de Chetumal es más enriquecida en ^{15}N en comparación con la red trófica de ecosistemas costeros, lo cual es consistente con otros estudios en la región.

TRABAJOS FUTUROS Y RECOMENDACIONES DE MANEJO

Como se ha mencionado previamente, la Bahía de Chetumal alberga una gran variedad de especies, algunas clasificadas bajo diferentes estatus de protección. Es bien sabido que para llevar a cabo un correcto manejo de cualquier ecosistema, es necesario comprender aspectos relacionados con la alimentación, crecimiento, refugio y reproducción de las especies que en ese ecosistema habitan, así como, las interacciones entre estos. Por lo que es necesario implementar estudios que proporcionen dicha información para la región.

A pesar de que este trabajo aporta información valiosa sobre la dinámica trófica de la Bahía de Chetumal, es necesario continuar con este tipo de estudios para esclarecer preguntas puntuales, como por ejemplo, si grupos residentes de toninas se alimentan de peces que entran a la Bahía de Chetumal o éstas salen a comer fuera (ver sección de discusión).

El estado de conservación de la bahía influye de manera directa al ecosistema mismo, así como a los pobladores que habitan en sus alrededores, y que hacen uso de ésta, con actividades como la pesca artesanal, y el uso recreativo incluyendo el turismo de bajo impacto. De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se describen las siguientes propuestas para un mejor manejo del área:

- En apego al Programa de Manejo del Santuario del Manatí, se permite el turismo de bajo impacto en las zonas de amortiguamiento de la reserva como lo es la zona de la Bahía de Chetumal, por lo que conocer dónde y de qué se alimentan las toninas, y fomentando la conservación de las mismas, se pueden crear rutas para hacer recorridos turísticos y avistar a las toninas, dicha actividad deberá llevarse a cabo por los mismos pobladores de las comunidades cercanas a la bahía, con el fin de fomentar la conservación del área, al mismo tiempo se genera una opción de empleo y servicio para las personas locales y extranjeras que quieran conocer más acerca de esta especie, y de esta manera dejar una derrama económica a los pobladores. Lo anterior se encuentra dentro de las reglas generales G25 y G26 del Programa de Manejo, así mismo los guías deberán apearse con las reglas generales G38, G39, G40 y G43 del mencionado programa, con el fin de no perturbar el área y a la

misma especie; además se apegará a las reglas específicas TUR-01, TUR-02, TUR-04, TUR-12, TUR-13, TUR-14, TUR-15, TUR-21, TUR-22, TUR-23, TUR-25, TUR-27, TUR-28 y TUR-29.

- Conforme a la información que se obtuvo sobre los niveles tróficos de las especies focales en el presente trabajo (Manatí antillano: 2.0; tonina: 3.9; cocodrilo de pantano: 3.0), se puede inferir que estas especies juegan un papel importante dentro de la red trófica del ecosistema, por lo que se recomienda implementar planes puntuales de conservación para cada una de estas especies, que al ser cuidadas ayudarán a la conservación del ecosistema en general a través de un efecto sombrilla.

BIBLIOGRAFÍA

ABARCA-ARENAS, L. G. & VALERO-PACHECO, E., 1993. Towar a trophic model of Tamiahua a coastal lagoon in México. En: V. Christensen & D. Pauly, edits. *Trophic models in aquatic ecosystems*. s.l.:s.n.

ACEVEDO, A., 1991. Behaviour and movements of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the entrance to Ensenada de la Paz, México. *Aquatic Mammals*, 17(3), pp. 137-147.

ALVES-STANLEY, C. D., WORTHY, G. A. & BONDE, R. K., 2010. Feeding preferences of West Indian manatees in Florida, Belize and Puerto Rico as indicated by stable isotopes analysis. *Marine Ecology*, 8 Marzo, Volumen 402, pp. 255-267.

Anon., 2011. FishBase. [En línea] Available at: <http://www.fishbase.org> [Último acceso: 2 Marzo 2013].

(CONANP), C. N. D. Á. N. P. (2010) Áreas naturales protegidas de Quintana Roo. IN ESTADO, S. D. D. U. Y. M. A. D. G. D. (Ed. Quintana Roo).

(UQROO), U. D. Q. R. (2003) Actualización del Programa de Manejo del área natural protegida Santuario del Manatí-Bahía de Chetumal. Chetumal, Quintana Roo.

BARACHO, C., CIPOLOTTI, S. & MORGUOD, E., 2007. The occurrence of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the biological reserve of Atol des Rocas in north-Brazil. *Biodiversity Records*, 9 Octubre. pp. 1-4.

BARBA-MACÍAS, E. & CASTELBLANCO-MARTÍNEZ, D. N., 2008. Comparative trophic models of SAV ecosystems in Gulf of México and Caribbean sea. *The International Seagrass Biology Workshop*.

BARRAGAN-BARRERA, D. C., 2010. *Distribución y uso hábitat del delfín nariz de botella Tursiops truncatus (Montagu, 1821) (Cetacea:delphinidae) en Bocas del Toro costa caribe de Panamá*. s.l.:s.n.

- BLANCO-PARRA, M. P., GALVÁN-MAGAÑA, F., MÁRQUEZ-FARÍAS, J. F. & NIÑO-TORRES, C. A. (2011) Feeding ecology and trophic level of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata*, inferred from stable isotopes and stomach contents analysis. *Springer Journals*, 1-13.
- CALDERÓN-MANDUJANO, R. R., CEDEÑO-VÁZQUEZ, J. R. & BAHENA-BASAVE, H. (2009) Herpetofauna: análisis y perspectivas. *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. Chetumal, Quintana Roo.
- CASTELBLANCO, D. N., 2010. *Ecología, comportamiento y uso de habitat de manatíes en la Bahía de Chetumal*. Chetumal, Quintana Roo: s.n.
- CASTELBLANCO-MARTÍNEZ D. N., BARBA E., SCHMITTER-SOTO J. J., HERNÁNDEZ-ARANA H. A. & B., M.-V. (2011) The Trophic Role of the Endangered Caribbean Manatee *Trichechus manatus* in an Estuary with low Abundance of Seagrass. *Springer Journals*, 18.
- CASTELBLANCO-MARTÍNEZ, D. N. y otros, 2013. Movement patterns of antillean manatees in Chetumal Bay, México and coastal Belize: A challenge for regional conservation. *Marine Mammal Science*, Abril, Volumen 29, pp. 166-182.
- CAUT, S., 2013. Isotope incorporation in broad-snouted *Caimans crocodilians*. *Biology Open*, 23 abril, Volumen 2, pp. 624-634.
- CAUT, S., ANGULO, E. & COURCHAMP, F., 2009. Variation in discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$): the effect of diet isotopic values and application for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology*, Volumen 46, pp. 443-453.
- CONABIO, 2012. CONABIO. [En línea] Available at: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_110.html [Último acceso: 4 Septiembre 2012].
- CHRISTENSEN, V. & PAULY, D. (1993) *Trophic models of aquatic ecosystems*, ICLARM.

- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2000. *Decreto del Área Natural Protegida Arrecifes de Xcalak*, Quintana Roo: s.n.
- ESPINOZA-ÁVALOS, J., ALEXANDER-ISLEBE, G. & HERNÁNDEZ-ARANA, H. A. (2009) *El sistema ecológico de la Bahía de Chetumal/Corozal: Costa occidental del Mar Caribe.*, Mexico.
- FOGEL, M. L. Y OTROS, 2008. Unusually negative nitrogen isotopic compositions ($\delta^{15}\text{N}$) of mangroves and lichens in an oligotrophic, microbially-influenced ecosystem. *Biogeosciences*, 11 diciembre, Volumen 5, pp. 1693-1704.
- FREIRE, M., CHRISTENSEN, V. & PAULY, D. (2008) Description of the East Brazil Large Marine Ecosystem using a trophic model. *Scientia Marina*, 72, 477-491.
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. & BAPTISTA-LUCIO, P. (2006) *Metodología de la investigación*, México D.F.
- HOEFS, J. (2009) *Stable Isotope Geochemistry*, Berlin.
- JACKSON-A., L., INGER, R., PARNELL-ANDREW, C. & BEARHOP, S. (2011) Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER – Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of animal ecology*, 80, 595–602.
- KASCHNER, K., STERGIOUS, K. I., WEINGARTHER, G. & KUMAGAI, S., 2004. Trophic levels of marine mammals and overlap in resource utilization between marine mammals and fisheries in the Mediterranean Sea. *CIES Workshop Monographs*, 31 enero, Volumen 25, pp. 51-58.
- LINNAEUS, C. (1758) *"El sistema de la naturaleza a través de los tres reinos de la naturaleza, de acuerdo con las clases, órdenes, géneros y especies, con personajes, diferencias, sinónimos, lugares"*.

- MANICKCHAND-HEILEMAN, S., ARREGUÍN-SÁNCHEZ, F., LARA-DOMÍNGUEZ, A. & SOTO, L. A., 1998. Energy flow and network analysis of Terminos Lagoon, SW Gulf of Mexico. *Journal of fish biology*, Volumen 53, pp. 179-197.
- MEDINA-QUEJ, A. Y OTROS, 2009. Pesquerías: sector social, recursos base y manejo. En: *El sistema ecológico de la Bahía de Chetumal/Corozal: Costa occidental del Mar Caribe*. Chetumal, Quintana Roo: ECOSUR, pp. 184-195.
- MERAV-BEN, D. & FLAHERTY, A. (2012) Stable isotopes in mammalian research: a beginner's guide. *Journal of Mammalogy*, 93, 312-328.
- MORALES-VELA, J. B. & PADILLA-SALDÍVAR, J. A. (2009) Aspectos biológicos de los manatíes en el sur de Quintana Roo. IN ECOSUR (Ed.) *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. Chetumal, Quintana Roo.
- MORALES-VELA, B. & OLIVERA-GÓMEZ, L. D., 1994. Distribución espacial y estimación poblacional de los manatíes en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Investigación Científica*, Volumen 2, pp. 27-34.
- NEWSOME, S. D., CLEMENTZ, M. T. & KOCH, P. L. (2010) Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*, 26, 509-572.
- NIÑO-TORRES, C. A. Y OTROS, 2006. Isotopic analysis of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{34}\text{S}$ "Afeeding tale" in teeth of the longbeaked comon dolphin *Delphinus capensis*. *Marine mammals Science*, 22(4), pp. 831-846.
- NIÑO-TORRES, C. A., URBÁN, J. & VIDAL, O., 2011. Tonina tursión. En: *Mamíferos del Golfo de California: Guía ilustrada*. Baja California: Alianza WWF-Telcel, pp. 145-151.
- OLIVERA-GÓMEZ, L. D. & MELLINK, E., 2002. Spatial and temporal variation in counts of the Antillean manatee (*Trichechus manatus*) during distribution surveys at Bahía de Chetumal, México. *Aquatic mammals*, 28(3), pp. 285-293.

- OKEY, T. A. & PUGLIESE, R. (2001) A preliminary ecopath model of the atlantic continental shelf adjacent to the Southeastern United States. *University of British Columbia*, 167-181.
- PAULY, D., TRITES, A. W., CAPULI, E. & CHRISTENSEN, V., 1998. Diet composition and trophic levels of marine mammals. *Journal of Marine Science*, Volumen 55, pp. 467-481.
- PERIODICO OFICIAL DEL ESTADO, 2005. *Decreto por el cual se establece el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la región de la Laguna Bacalar, Quintana Roo, México*, Chetuma,, Quintana Roo: s.n.
- PERIODICO OFICIAL DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO, 1996. *Decreto por el que se declara Área Natural Protegida la región conocida como Bahía de Chetumal, con la categoría Zona Sujeta a Conservación Ecológica, Santuario del Manatí, ubicada en el municipio de Othon P. Blanco, Quintana Roo*, Chetumal, Quintana Roo: s.n.
- POST, D. M. (2002) Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods and assumptions. *Ecology*, 83, 703-718.
- RADLOFF, F. G., HOBSON, K. A. & LESLIE, A. G., 2012. Characterising ontogenetic niche shifts in Nile crocodile using stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) analysis of scute keratin. *Isotopes environ, health stud*, Volumen 48, pp. 439-456.
- ROSENBLATT, A. E. & HERTHAUS, M. R., 2011. Does variation in movement tactics and trophic interactions among American alligators create habitat linkages. *Journal of Animal Ecology*, pp. 11-13.
- SANTIAGO, L. S., SILVERA, K., ANDRADE, J. L. & DAWSON, T. E. (2005) El uso de isótopos estables en biología tropical. *INCI*, 30.
- SCHMITTER-SOTO, J. J., VÁSQUEZ-YEOMANS, L., PIMENTEL-CADENA, E., HERRERA-PAVÓN, R., PAZ, G. & GARCÍA-TÉLLEZ, N. (2009) Peces. IN ECOSUR (Ed.) *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. Chetumal, Quintana Roo.

- SHNEIDER, L., MAHER, W., GREEN, A. & VOGT, R. C., 2013. Mercury contamination in reptiles: Emerging problem with consequences for wild life and human health. *Nava Science Publisher Inc.*, pp. 173-232.
- SCULLION LITTLER, D. & MASTERTON LITTLER, M., 2000. *Caribbean Reef Plants and Identification: Guide the Reef Plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of México*. Primera ed. s.l.:Off Share Graphics Inc.
- TORRES-DOWDALL, J., FARMER, A. & BUCHER, E. H. (2006) Uso de isótopos estables para determinar conectividad migratoria en aves: alcances y limitaciones. *Hornero*, 21, 73-84.
- VANDERKLIFT, M. A. & PONSARD, S., 2003. Source of variation in consumer diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oceanología*, Volumen 136, pp. 169-182.
- VARGAS-MÁRQUEZ, F., ESCOBAR-MARAVILLAS, S., DE LA MAZA-ELVIRA, R. & DEL PONT-LALLI, R. (2002) Quintana Roo. IN (SEMARNAT), S. D. M. A. Y. R. N. (Ed.) *Áreas naturales protegidas de México con decretos estatales*. México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- VÁZQUEZ, L., SERRANO, A., LÓPEZ, M. & GALINDO, J. A., 2007. Caracterización del hábitat de las poblaciones de toninas (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821) en la costa del estado de Veracruz, México. *UDO Agrícola*, 7(1), pp. 285-292.
- VIDAL, L. & BASURTO, M., 2003. A preliminary trophic model of Bahía de la Ascensión, Quintana Roo, México. *Fisheries Centre Research Reports*, 11(6), pp. 255-265.
- ZACARÍAS-ARAUJO, F., 1992. *Distribución espacial y temporal de Tursiops truncatus en la zona sur del Caribe Mexicano, durante los años 1987 y 1988*. s.l.:s.n.
- ZACARIAS-ARAUJO, F. J., 1999. *Distribución y fotoidentificación de delfines Tursiops truncatus en el norte de Quintana Roo, México durante 1993-1994*. s.l.:s.n.