



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S. C.

Programa de Estudios de Posgrado

**EVALUACIÓN DE LOS HÁBITOS DE ALIMENTACIÓN DE LA TORTUGA VERDE
CHELONIA MYDAS, EN BAHÍA MAGDALENA, BCS, MÉXICO, UTILIZANDO LA
TÉCNICA DE ISÓTOPOS ESTABLES ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$)**

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales

Presenta

Biol. Mar. Lucía Santos Baca

Directora de Tesis

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez

La Paz, Baja California Sur, Marzo de 2008

COMITÉ TUTORIAL

Dra. Lía Méndez Rodríguez

Directora de tesis

Dr. Jeffrey A. Seminoff

Co-tutor

Dr. Rafael Riosmena Rodríguez

Co-tutor

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dra. Lía Méndez Rodríguez

Dr. Jeffrey A. Seminoff

Dr. Rafael Riosmena Rodríguez

JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Dra. Lía Méndez Rodríguez

Dr. Jeffrey A. Seminoff

Dr. Rafael Riosmena Rodríguez

Suplente: Dra. Lucía Ocampo Victoria

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi directora de tesis Lía Celina Méndez Rodríguez, ya que sin su colaboración y apoyo no hubiera sido posible llevar a término este trabajo.

Asimismo quisiera agradecer a la Dra. Susan C. Gardner por invitarme a participar en este proyecto y a todo mi comité tutorial por su apoyo y valiosas observaciones.

En particular agradezco a las personas del Grupo Tortuguero y de La Escuela de Campo de San Carlos (The School for Field Studies) por su valioso apoyo en campo y en la captura y toma de muestras de tortuga marina. También, a todos los que colaboraron con el muestreo del hábitat sin los cuales, esta investigación no hubiera podido realizarse.

Especialmente quisiera agradecer al Dr. Jeffrey A. Seminoff por su invitación a realizar una estancia en el Southwest Fisheries Science Center, La Jolla, Ca., y a Lauren Hess y Mireille Plouffe-Malette por su importantísima ayuda con el trabajo de laboratorio y análisis isotópico. Igualmente agradezco a Octavio Rodríguez por su hospitalidad, gran corazón, paciencia y amistad, así como a todas las personas que ofrecieron su ayuda durante la estancia de investigación.

También quisiera dar mis agradecimientos a todo el personal de La Dirección de Posgrado por su apoyo con los trámites escolares, pero sobretodo por su tiempo, trato amable y paciencia.

Finalmente, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su soporte económico e institucionales a través del programa de posgrado del CIBnor, el Programa de Becas-Mixtas en el Extranjero y del proyecto Bioacumulación de metales pesados en tortuga verde en relación con su ecología alimentaria (SEP-2004-c01-45749).

A mi familia, porque siempre tienen la paciencia para esperarme.

A la ciudad de La Paz y su gente, porque tuvieron la paciencia para soportarme.

Resumen

Hasta la fecha, la mayor parte de los estudios en tortugas marinas se han centrado en el análisis de los contenidos estomacales para describir su ecología alimentaria; sin embargo, esta técnica tienen algunas desventajas, principalmente debido a que sólo representan una "imagen instantánea" de la dieta y además no detecta las presas que realmente han sido asimiladas. Es por esto, que diversos autores han propuesto complementar los estudios tradicionales con el análisis de los isótopos estables de carbono y nitrógeno, ya que estos incorporan información sobre los nutrientes que son asimilados a lo largo del tiempo. El objetivo de este trabajo fue determinar los hábitos de alimentación de la tortuga verde, comparando los patrones isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en sus tejidos (piel y sangre) con las señales isotópicas de sus recursos potenciales. Se consideró además, el efecto que pudieran tener sobre estos valores, el tiempo de integración de cada tejido, la temporada de muestreo, las distintas clases de tallas y la zona de alimentación (San Ignacio, Punta abrejos y Bahía Magdalena). Para esto, se recolectaron muestras de piel y plasma sanguíneo de tortuga verde, así como muestras sus presas potenciales (macroalgas, invertebrados y fanerógamas marinas) en cuatro temporadas diferentes. A todas las muestras se les extrajeron los lípidos y se analizaron por espectrometría de masas. En general, los valores isotópicos de las presas potenciales reflejaron su posición dentro de la cadena trófica (como productores o consumidores) y en algunos casos permitieron identificar posibles relaciones tróficas entre algunos de los grupos y con la tortuga verde. Por otro lado, la proporción isotópica observada en piel y el plasma sanguíneo proporcionaron información complementaria respecto a sus hábitos de alimentación a lo largo del tiempo, en especial en el caso de los isótopos de carbono. Los valores isotópicos encontrados en los tejidos y las presas potenciales de tortuga verde mostraron que sus hábitos de alimentación son omnívoros, con invertebrados y macroalgas como principales componentes y en menor medida algas café y fanerógamas marinas. Aunque los valores de $\delta^{15}\text{N}$ muestran que el status trófico de la tortuga verde se mantiene a lo largo del año, la señal de $\delta^{13}\text{C}$ en el plasma sanguíneo indica que la importancia de los componentes de su dieta podría estar variando a lo largo del año. Ya que la mayor parte de los individuos se consideraron como inmaduros (<77.3 cm LRC), no fue posible hacer alguna afirmación respecto al efecto de la talla en los valores isotópicos. Los valores isotópicos observados en las distintas zonas de alimentación muestran que si bien las tortugas consumen los mismos recursos (macroalgas e invertebrados), en laguna San Ignacio probablemente están consumiendo de manera frecuente otras presas (ej. *Z. marina*). Al parecer, los hábitos de alimentación de la tortuga verde dependen por un lado, de temporada del año y la talla de los organismos, y por otro, de las características de sus presas, en especial por su calidad nutricional y su disponibilidad.

Palabras clave: tortuga verde, hábitos de alimentación, isótopos estables, Bahía Magdalena, Baja California Sur.

Abstract

To date, most studies on sea turtles have focused on the analysis of stomach contents to describe their foraging ecology, but this technique has some disadvantages, mainly because it represented only a “snapshot” of the diet and also could not detect the items that have really been assimilated. For this reason, several authors have proposed supplement traditional studies with the analysis of stable isotopes of carbon and nitrogen, since they incorporate information on the nutrients are assimilated over time. The aim of this study was to determine the foraging habits of the green turtle, by comparing the isotopic patterns of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in their tissue (skin and blood plasma) with isotopic signals of its potential resources. It also considered the impact on these values of integration time of each tissue, the season of sampling, size classes and the foraging area (San Ignacio, Punta abreojos and Magdalena Bay). For this, samples were collected from skin and blood plasma of green turtle, as well as potential prey samples (macroalgae, invertebrates and marine phanerogams) in four different seasons. All samples were extracted lipids and analyzed by mass spectrometry. Overall, the isotopic values of the potential items reflected their position in the food chain (such as producers or consumers) and in some cases helped identify potential trophic relationships between some of the groups and with the green turtle. Moreover, the isotopic ratio observed in skin and blood plasma provided additional information regarding their foraging habits over time, especially in the case of carbon isotopes. The isotopic values found in the tissues and potential prey samples showed that green turtle are omnivore, and that macroalgas and invertebrates represents the major components of the diet and to a lesser extent the brown algae and seagrasses. Although the values of $\delta^{15}\text{N}$ show that the trophic status of the green turtle is maintained throughout the year, the signal $\delta^{13}\text{C}$ in the blood plasma indicates that the importance of the components of diet could be varied throughout the year. Since most of the individuals were considered immature (<77.3 cm. LRC), it was not possible to make any statement regarding the effect of size on the isotopic values. The isotopic values observed in the different feeding areas show that probably the turtles are eating the same resources (macroalgae and invertebrates), but that in Laguna San Ignacio they are also consuming another items frequently (in this case *Z. marina*). Apparently, the foraging habits of the green turtle depend on the one hand in the time of the year and the size class of the organisms and also on the characteristics of their prey, especially their nutritional quality and availability.

Keywords: green turtle, foraging habits, stable isotopes, Magdalena Bay, Baja California Sur.

CONTENIDO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	4
1.2.1. Ecología trófica de <i>Chelonia mydas</i>	
1.2.2. Hábitos alimenticios de la tortuga verde del Pacífico Este	
1.2.3. Isótopos estables en tortugas marinas	
1.2.4. Isótopos estables en los recursos potenciales de la tortuga verde	
1.3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	24
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	25
2.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	25
2.2 COLECTA DE MUESTRAS Y PREPARACIÓN EN CAMPO.....	27
2.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES.....	28
2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y ASIGNACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA DIETA.....	31
3. RESULTADOS.....	35
3.1 SEÑALES ISOTÓPICAS DE LAS PRESAS POTENCIALES.....	35
3.3 PATRONES DE VARIACIÓN ISOTÓPICA Y RECONSTRUCCIÓN DE LA DIETA.....	40
4. DISCUSIÓN.....	57
5. LITERATURA CONSULTADA.....	71
6. ANEXOS.....	79

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Enriquecimiento de los isótopos ^{15}N o ^{13}C y su representación gráfica.....	15
Figura 2. Localización del Complejo Lagunar Bahía Magdalena en la Península de Baja California.....	26
Figura 3. Toma de muestras de sangre y piel de tortuga verde	28
Figura 4. Material utilizado en la homogeneización de las muestras.....	29
Figura 5. Aparato Soxhlet.....	30
Figura 6. Equipo para pesar y encapsular las muestras para el análisis en el espectrómetro de masas.	30
Figura 7. Señales isotópicas en las presas potenciales de <i>C. mydas</i>	37
Figura 8. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en presas potenciales <i>C. mydas</i> y presas potenciales (promedio \pm DE): Chlorophyta (CHL), Rhodophyta (RHO), Phaeophyta (PHE), fanerógamas marinas (ZOST), Cnidaria (CNI), Porifera (ESPON).	37
Figura 9. Variación temporal de las señales isotópicas ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) en las presas potenciales de <i>C. mydas</i> (prom. \pm D.E.): Chlorophyta (CHL), Phaeophyta (PHE), Rhodophyta (RHO) y <i>Zostera marina</i> (ZOST).	38
Figura 10. Señales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontradas en los tejidos de <i>C. mydas</i> durante todo el muestreo (promedio \pm DE): plasma sanguíneo (PLA, n=16) y piel (SKN, n=29).	41
Figura 11.- $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en tejidos de <i>C. mydas</i> y presas potenciales (promedio \pm DE): Chlorophyta (CHL), Rhodophyta (RHO), Phaeophyta (PHE), fanerógamas marinas (ZOST), Cnidaria (CNI), Porifera (ESPON), Plasma sanguíneo (PLA) y piel (SKN).	42
Figura 12. Reconstrucción de la dieta de <i>C. mydas</i> utilizando la $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en presas potenciales y tejidos corregidos por el factor de discriminación..	43
Figura 13. Análisis de similitud considerando los valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ (a) y $\delta^{13}\text{C}$ (b) en tejidos de <i>C. mydas</i> y sus presas potenciales.....	44
Figura 14. Diferencias estacionales en las señales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en plasma sanguíneo de <i>C. mydas</i> (Promedio \pm DE).	46
Figura 15. Diferencias estacionales en las señales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en piel de <i>C. mydas</i> (Promedio \pm DE).	47

Figura 16. Reconstrucción de la dieta de <i>C. mydas</i> considerando diferentes temporadas de muestreo. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en presas potenciales y plasma sanguíneo corregido por el factor de discriminación.....	49
Figura 17. Distribución de tallas de las tortugas capturadas en Bahía Magdalena.....	50
Figura 18. $\delta^{15}\text{N}$ promedio en plasma y piel (PLA Y SKN) de los diferentes grupos de tallas de <i>C. mydas</i>	50
Figura 19. $\delta^{13}\text{C}$ promedio en plasma y piel (PLA Y SKN) de los diferentes grupos de tallas de <i>C. mydas</i>	51
Figura 20. Reconstrucción de la dieta de <i>C. mydas</i> considerando diferentes clases de talla. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en plasma sanguíneo corregido por el factor de discriminación y presas potenciales	52
Figura 21. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en plasma sanguíneo de tortugas capturadas en la costa Occidental de la Península de BCS (Promedio \pm DE): Bahía Magdalena (BMA), Laguna San Ignacio (LSI) y Punta abreojos (PAO).	53
Figura 22. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en piel de tortugas capturadas en la costa Occidental de la Península de BCS (Promedio \pm DE): Bahía Magdalena (BMA), Laguna San Ignacio (LSI) y Punta abreojos (PAO).	54
Figura 23. Reconstrucción de la dieta de <i>C. mydas</i> comparando zonas de muestreo (Bahía Magdalena, Laguna San Ignacio y Punta abreojos). $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en plasma sanguíneo corregido por el factor de discriminación y presas potenciales	55
Figura 24. Distribución de tallas de las tortugas capturadas en la costa Occidental de la Península de BCS: Bahía Magdalena, Laguna San Ignacio y Punta abreojos.....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Presas potenciales de <i>Chelonia mydas</i> : grupo taxonómico, nombres específicos y número de muestras que se analizaron por taxón (n).....	36
Tabla II.- Resumen de los valores isotópicos ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) encontrados en las presas potenciales de <i>C. mydas</i>	38
Tabla III. Resumen valores isotópicos de de C y N en las presas identificadas por López-Mendilaharsu <i>et al.</i> (2005).	39
Tabla IV.- ANOVA de la proporción isotópica ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) de los grupos de presas potenciales de <i>C. mydas</i> , comparando los diferentes meses de muestreo.	39
Tabla V. Resumen de los valores isotópicos ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) encontrados en tejidos de <i>C.mydas</i> . ANOVA, N: $F_{1,43}=0.107$, $p>0.05$; C: $F_{1,43}=6,588$, $p=0,01$	41
Tabla VI. Valores isotópicos promedio ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) corregidos con el factor de discriminación isotópico reportado para tortuga verde (SEFF 06) y con el factor de discriminación teórico en plasma y piel de CM.	41
Tabla VII. Resumen de la variación estacional de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en plasma sanguíneo (PLA) de <i>C. mydas</i>	45
Tabla VIII. Resumen de la variación estacional de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en piel.	46
Tabla IX. Resumen de los valores isotópicos encontrados en plasma (PLA) de <i>C. mydas</i> . ANOVA, N: $F_{3,12}=4.768$, $p<0.05$; C: $F_{3,12}=1.198$, $p>0.05$	50
Tabla X. Resumen de los valores isotópicos encontrados en piel (SKN) de <i>C.mydas</i> . ANOVA, N: $F_{4,23}=0.786$, $p>0.05$, C: $F_{4, 23}=0.535$, $p>0.05$	51
Tabla XI.- Resumen de los valores isotópicos de C y N encontrados en plasma sanguíneo (PLA) en las diferentes localidades de muestreo.	54
Tabla XII.- Resumen de los valores isotópicos de C y N encontrados en piel (SKN) en las diferentes localidades de muestreo.	54

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La complejidad del ciclo de vida de las tortugas marinas, aunada a la dificultad que representan los estudios en el medio marino, han limitado la generación de información respecto a su biología. De hecho, a nivel mundial, la mayor parte de los esfuerzos se han centrado al estudio de las tortugas en las playas de anidación, lo que representa únicamente el 10% de su ciclo de vida (Bjornal, 1999). Sin embargo, los trabajos que se han realizado dentro del medio marino (ej. Carr, 1987; Bjornal, 1980; Mortimer, 1982; Musick and Limpus, 1997; Godley *et al.*, 1998; Whiting y Miller, 1998), representan un importante avance en el conocimiento de los requerimientos ecológicos, utilización del hábitat y movimientos migratorios de las tortugas marinas.

En particular, los estudios enfocados en la ecología trófica de las tortugas marinas, han sido un punto importante de partida para el manejo de unidades poblacionales discretas (Seminoff *et al.*, 2002). Dichos trabajos han identificado los recursos que pudieran estar siendo utilizados y hasta cierto punto han delimitado las áreas de alimentación (ej. Mortimer, 1982, Garnett *et al.* 1985. Coyne, 1994). En algunos casos, se ha determinado el efecto que las características del hábitat y sus recursos podrían estar teniendo tanto en la distribución de los individuos como en la elección de la dieta (Whiting y Miller, 1998; Villegas-Nava, 2006; Fuentes *et al.*, 2007; López-Mendilaharsu *et al.*, 2005).

Todos estos aspectos son importantes, ya que podrían estar influyendo en las diferencias que se han observado en cuanto a la estructura poblacional, tasas de crecimiento somático, utilización del hábitat y reproducción (fecundidad, tiempo de

reproducción, etcétera) en distintas poblaciones de tortugas marinas (Balaz, 1982; Bjorndal, 1985; Seminoff *et al.*, 2002a).

No obstante, en la mayor parte de los trabajos, la reconstrucción de la dieta se ha hecho principalmente con base en el análisis de lavados estomacales y contenidos estomacales (necropsias) (ej. Mortimer, 1982; López-Mendilaharsu *et al.*, 2005; Fuentes *et al.*, 2007); y en menor medida, en la observación directa de los organismos alimentándose (Green, 1994) o mediante otros métodos (ej. análisis fecales).

Aunque los métodos tradicionales pueden proporcionar una mayor resolución taxonómica (la cual es necesaria para validar cualquier otro tipo de estudios) y disminuyen algo de subjetividad al evaluar el papel de diversas presas, sus resultados deben considerarse tan sólo como una aproximación relativa, ya que estas tienen ciertas desventajas que impiden hacer inferencias precisas de la dieta y sus sobretodo sobre sus variaciones temporales.

Una de la principal desventaja, se relacionan con el hecho de que la información que se obtiene mediante los métodos tradicionales, únicamente representa el periodo entre la ingestión y digestión del alimento de manera instantánea (Peterson y Fry, 1987; Hobson *et al.*, 1996), lo que impide detectar los patrones de alimentación a largo plazo (Pinn *et al.*, 1998). Además, estas técnicas no identifican los componentes que realmente son asimilados por los organismos (Duffy y Jackson, 1986; Jepsen y Winemiller, 2002; Mccarthy *et al.*, 2004), por lo que es posible sobreestimar la proporción no-digerible de las presas y subestimar la proporción que no pueda ser identificada (en especial a los organismos de cuerpos blandos o las presas que se digieren más rápidamente).

Una alternativa que ha sido propuesta por diversos autores (ej. Godley *et al.*, 1998; Leite *et al.*, 2002; McCutchan *et al.*, 2003; Zah *et al.*, 2003; Morrissey *et al.*, 2004) para describir relaciones tróficas, es la utilización de la proporción de isótopos estables de

carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$). Esta técnica se basa en el hecho de que las señales isotópicas en de las presas, se verán reflejadas en los consumidores, transmitiéndose a lo largo de la cadena trófica desde los productores hasta los consumidores. Para detectar la contribución de las posibles fuentes de alimento, es necesario únicamente que estas puedan ser distinguidas isotópicamente y se conozca el cambio en la proporción isotópica entre los consumidores y sus presas (DeNiro and Epstein, 1978; DeNiro and Epstein, 1981).

Este tipo de análisis provee ciertas ventajas respecto a los análisis convencionales de la dieta, principalmente porque permite conocer los recursos que realmente han sido asimilados y hacer una descripción de la dieta considerando distintos tiempos de integración de la dieta, al utilizar tejidos con diferentes tasas metabólicas (Peterson y Fry, 1987; Hobson *et al.*, 1996; Román-Reyes, 2003). Además, el análisis de los isótopos estables, puede realizarse con únicamente una pequeña muestra de tejido tanto de organismo vivos como muertos (Revelles *et al.*, 2007).

En el presente trabajo, se busca evaluar los hábitos de alimentación de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) dentro del área de Bahía Magdalena, BCS, México, utilizando la herramienta de los isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$), con el fin de hacer una interpretación más adecuada de las relaciones tróficas de la tortuga verde en la zona, complementando la información obtenida mediante los métodos tradicionales. Sobretudo, se busca esclarecer el origen de sus fuentes de energía y nutrientes, ya que se ha señalado que las tortugas podrían estarse alimentando en sitios fuera de la bahía.

Además, este trabajo en conjunto con evaluaciones que involucran contaminantes en tortugas marinas, establecerán las bases adecuadas para conocer el efecto de la dieta en la acumulación de dichos contaminantes. Los estudios sobre alimentación permitirán, localizar y por lo tanto discriminar las diversas rutas de exposición a contaminantes, con el

fin de planear estrategias que eviten o disminuyan su efecto sobre las tortugas marinas o en sus hábitats de alimentación.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Ecología trófica de *Chelonia mydas*.

Hasta la fecha, existen diversos trabajos enfocados en los hábitos de alimentación de la tortuga verde a lo largo de su distribución mundial. En estos trabajos, ha sido descrita como un organismo herbívoro que se alimenta principalmente de fanerógamas marinas y/o de macroalgas, ocupando un nicho único entre las tortugas marinas (Mortimer, 1982; Bjorndal, 1997). Sin embargo, se han observado diferencias temporales y geográficas, tanto en el nivel trófico de las tortugas como en la composición específica de la dieta, que hace que la descripción de sus hábitos sea más compleja.

En el caso de las tortugas neonatas, existe un desconocimiento de la localización exacta de sus zonas de crecimiento y alimentación, aunque se ha observado que las tortuguillas se dispersan hacia un ambiente pelágico, manteniéndose en los sistemas de corrientes oceánicas (Carr, 1980), en los cuales la disponibilidad del alimento tendría que ser suficiente como para permitir su sobrevivencia durante un largo periodo de tiempo. En esta etapa, las tortugas poseerían una alimentación carnívora, constituida por organismos zooplanctónicos (Frick, 1976; First, 1981), como por ejemplo: ctenóforos, moluscos y huevos de diversos organismos (Bjorndal, 1997; Salmon *et al.* 2004).

El reclutamiento de las tortugas verdes hacia sus hábitats neríticos ocurre generalmente entre los 25 y 40cm de LRC dependiendo de la región (Carr, 1987; Bjornal, 1980; Musick and Limpus, 1997), en donde modificarían su dieta hacia unos hábitos completamente hervíboros. Algunos autores han observado que existe una etapa de

transición omnívora durante su crecimiento (Bjorndal, 1980; Mortimer, 1982; Hirth, 1997) antes de trasladarse completamente hacia los centros de alimentación neríticos e incluso dentro de ellos (Bjorndal, 1997; Godley *et al.*, 1998), con organismos subadultos o juveniles alimentándose de algunas especies de invertebrados además de los recursos vegetales disponibles.

A partir de esta etapa y en la mayor parte de su rango, las tortugas verdes se alimentan principalmente de fanerógamas marinas (Mortimer, 1982), aunque las macroalgas pueden complementar su dieta (Bjorndal, 1997; Villate, 2003; Fuentes *et al.*, 2007) y en ausencia de las fanerógamas, llegar a representar el principal alimento de algunas poblaciones (ej. Pritchard, 1971; Ferreira 1968; Seminoff *et al.*, 2002). En algunos sitios, se ha observado una dicotomía entre individuos que se alimentan únicamente de fanerógamas marinas y que se encuentran a pocos kilómetros o incluso dentro de un mismo sitio de alimentación, de otras que se alimentan de macroalgas (ej. Golfo de California y Australia).

Aunque la importancia relativa de los componentes de la dieta puede variar geográficamente, las tortugas verdes se alimentan predominantemente de tres géneros de fanerógamas: *Thalassia*, *Syringodium* y *Halodule*. En el caso de las algas, son las algas rojas las que son consumidas en mayor volumen (ej. Ferreira, 1968; Mortimer, 1982; Bjorndal, 1997; Fuentes *et al.*, 2007), seguidas por las algas verdes y en menor medida las algas cafés (Garnett and Murray, 1981; Balazs, 1980; Mortimer, 1982; Seminoff *et al.*, 2002). De hecho, las algas cafés solo han sido reportadas como el principal componente de la dieta en tortugas de las islas Ogasawara en Japón (Kurata *et al.*, 1978). También se ha observado a tortugas alimentándose de hojas de mangle (Pendoley y Fitzpatrick, 1999), así como la presencia de semillas y cotiledones de mangle en contenidos estomacales (Limpus y Limpus, 2000; López-Mendilaharsu *et al.*, 2005).

Además, se ha encontrado materia animal en algunos contenidos estomacales, como poliquetos, equinodermos, tunicados, esponjas, medusas y crustáceos (Casas-Andreu y Gómez-Aguirre, 1980; Mortimer, 1982; Forbes, 1994; Seminoff *et al.*, 2000; López-Mendilaharsu *et al.*, 2005); por lo que se ha sugerido que las tortugas verdes podrían estar consumiendo materia animal de manera frecuente. Incluso se ha señalado que algunas poblaciones podrían presentar una dieta más carnívora en comparación con otras (Hays-Brown y Brown, 1982; Bjornal, 1997; Seminoff *et al.*, 2002; Amorocho y Reina, 2007). Sin embargo, es posible que este tipo de alimentación sea oportunista por parte de las tortugas y que ocurra cuando sus presas usuales no están disponibles o se encuentran en bajas cantidades; o bien, que este consumo esté asociado a cierto grado de desarrollo de los organismos antes de adquirir hábitos completamente herbívoros.

Por otro lado, al alcanzar la madurez sexual y al comenzar la temporada de reproducción, las tortugas realizan largas migraciones hacia sus sitios de anidación, en donde permanecen por algunos meses (Musick y Limpus, 1997). Se ha sugerido que durante este tiempo, las tortugas pueden cambiar su dieta de manera facultativa (Márquez, 2002) cuando sus recursos principales no están disponibles; sin embargo, hasta la fecha no existe ningún trabajo enfocado a describir los hábitos de alimentación de las tortugas marinas durante este periodo. Al finalizar la temporada reproductiva, las tortugas adultas regresan a sus centros de alimentación donde permanecen varios años antes de la siguiente temporada de anidación.

Con respecto a la localización de los sitios de alimentación, hay opiniones de que esta depende de la presencia y abundancia de sus recursos (Rincón-Díaz y Rodríguez-Zarate, 2004). Algunos estudios sobre migración post-anidación (Hays *et al.*, 2002; Craig *et al.*, 2004), han observado que la localización de estos sitios se relaciona con la presencia de suficientes recursos para su alimentación.

En cuanto a la composición específica de la dieta, se sugiere (Bjorndal, 1979; Whiting y Miller, 1998; Villegas-Nava, 2006) que la selección de las presas por parte de las tortugas, debería de satisfacer sus necesidades nutricionales y energéticas, así como adecuarse a su capacidad digestiva. El análisis químico de algunas de las presas de la tortuga verde (Bjorndal, 1979; Villegas-Nava, 2006), sugiere que la selectividad podría tener una estrecha relación con la calidad de sus presas, optimizando de esta forma, la toma de nutrientes y energía. Sin embargo, algunas de las especies que son consumidas, no representan un aporte importante de nutrientes y/o energía, por lo que se ha expuesto que otros aspectos (ej. disponibilidad, conducta, fisiología digestiva), podrían estar afectando la selección de su alimento.

La disponibilidad de los recursos es otro de los atributos que debe considerarse en los estudios de selectividad (López-Mendilaharsu *et al.*, 2005; Fuentes *et al.*, 2007), ya que se ha observado que la composición y diversidad de las presas potenciales en los sitios de alimentación, se ven reflejadas en las diferencias que se presentan entre dietas (Mortimer, 1982). Asimismo, los cambios estacionales en la disponibilidad de las presas también podrían estar influyendo en la selección (López-Mendilaharsu, 2002).

Por otro lado, también se ha observado que el consumo de algunas presas es independiente de su abundancia (Lopez-Mendilaharsu, 2002; Coyne, 1994; Fuentes *et al.*, 2007) e inclusive pueden evitar especies que se presentan en grandes cantidades en el medio (Coyne, 1994; Seminoff *et al.*, 2002; González-Ramos y Santos-Baca, 2005). Es por esto que se ha sugerido que el comportamiento de las tortugas podría deberse tanto a la disponibilidad como a la calidad de sus presas (Bjorndal, 1979; Whiting y Miller, 1998; Villegas-Nava, 2006).

De esta forma, las tortugas se alimentarían de manera preferente de presas de buena calidad (ignorando aquellas con bajo contenido nutricional). Al disminuir la

densidad del alimento ampliarían su intervalo de selección, dada la necesidad de complementar su dieta aunque sea con especies de bajo contenido nutricional pero con mayor disponibilidad. De hecho, la presencia de materia animal en la dieta de las tortugas, podría significar un aporte extra de energía o nutrientes (vitaminas, minerales traza o aminoácidos esenciales) cuando este tipo de alimento se encuentra disponible en el medio (Seminoff *et al.*, 2002; Amorocho y Reina, 2007).

Otros factores que han sido sugeridos como determinantes en la selección de la dieta por parte de los organismos herbívoros (Montgomery & Gerking 1980; Cáceres *et al.*, 2002) y que probablemente están influyendo en la selectividad y comportamiento de las tortugas marinas son: la accesibilidad, la cantidad de compuestos químicos (metabolitos secundarios), la rugosidad, succulencia, textura, el sabor, así como la digestibilidad de la pared celular, entre otros (Garnett *et al.*, 1985; Forbes, 1996; Zemke-White and Clements, 1999). No obstante, el efecto que estos factores pudieran tener en el caso de las tortugas marinas hasta la fecha no ha sido estudiado.

Respecto a la distribución de los de los individuos dentro y/o entre zonas de alimentación, se han observado modificaciones asociadas a los cambios en sus presas (calidad, disponibilidad, etcétera) (Whiting y Miller, 1998; Bjorndal *et al.*, 2000); mientras que en otros sitios las poblaciones de tortuga verde, son residentes permanentes de sus zonas de alimentación (Mortimer, 1982; Limpus *et al.*, 1992), lo que podría indicar la presencia de recursos potenciales suficientes o de buena calidad como para mantener a una población durante extensos periodos de tiempo (Marcovaldi *et al.*, 1998).

1.2.2 Hábitos alimentarios de la tortuga verde del Pacífico Este

Se ha sugerido que las poblaciones de tortuga verde que se distribuyen a lo largo de la costa Este del Pacífico (conocidas localmente como tortuga negra), podrían presentar una dieta más carnívora que en otras regiones (Bjorndal, 1997; Seminoff *et al.* 2002; Plouff-Malette *et al.*, 2007).

Paredes (1969) al realizar un estudio de contenidos estomacales de tortugas marinas capturadas en la costa de Perú, reporto la presencia de macroalgas en 20 estómagos, de medusas en 12 y de moluscos en diez. En Ecuador, Fritts (1980) reportó que el contenido estomacal de una tortuga adulta, capturada en un ambiente pelágico, presentaba únicamente huevos de peces unidos a pequeñas cantidades de *Sargassum*.

Posteriormente en Perú, Hays-Brown y Brown (1982) realizaron el análisis de contenidos estomacales de 39 tortugas (con un LRC entre 52 y 89 cm), encontrando los siguientes porcentajes de ocurrencia: moluscos (*Mytilus*, *Nassarius* y *Semele*) 64%; algas (principalmente *Rhodymenia* y *Gigartina*) 51%, poliquetos 49%, medusas y anfípodos comensales (*Hyperia medusarum*) 31%, peces y huevos de peces 23%, marisma 18% y crustáceos 13%.

Por su parte, Mortimer (1982) hizo una revisión de los trabajos enfocados en la alimentación de la tortuga verde en las costas de Ecuador y Honduras. Menciona que la alimentación de las tortugas en las islas Galápagos es constituida principalmente por macroalgas (especialmente de los géneros *Ulva* y *Caulerpa*) y que en algunas ocasiones consumen hojas de mangle. También señala que en la Bahía de Fonseca, Honduras, se han observado kelpos y esponjas en los estómagos de algunas tortugas, y en menor grado fanerógamas marinas entre otras.

En el pacífico colombiano, Amorocho y Reina (2007) analizaron los lavados estomacales de 84 tortugas verdes capturadas en el Parque Nacional Gorgona. Ellos

identificaron 5 componentes dietarios, con un rango de importancia determinado por su porcentaje de masa húmeda en los lavados: tunicados (Salpidae y Doliolidae), frutos de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), algas (Rhodophyta, Cholophyta y Cyanophyta), pequeños crustáceos (larvas de camarón) y hojas (*Ficus* spp.). Los autores realizaron un análisis nutricional para determinar la contribución de cada uno de los componentes en la alimentación de las tortugas, encontrando que los tunicados presentaron los valores más altos de proteínas seguidos por las algas, las hojas y los frutos de mangle. Se sugiere que esta estrategia omnívora de las tortugas marinas inmaduras dentro del Parque Nacional, les proporciona beneficios energéticos para continuar con las rutas migratorias hacia sus áreas de desarrollo o reproducción.

En las costas de Colima y Jalisco, México, Casas-Andreu y Gómez-Aguirre (1980) reportaron que los tractos digestivos de 6 tortugas negras capturadas, contenían una gran diversidad de invertebrados (principalmente crustáceos) y que únicamente 4 de las 6 tortugas presentaban algas rojas y verdes (principalmente *Ulva lactuca*).

En México, los principales sitios de alimentación de la tortuga verde se localizan en el Golfo de California (Bahía de los Ángeles, Canal del Infiernillo y Loreto) así como en la costa occidental de la Península de Baja California (Laguna Ojo de Liebre, Estero El Coyote, Laguna San Ignacio y Bahía Magdalena) (Márquez, 1990). En estos sitios, también se ha encontrado materia animal formando parte de la dieta, aunque la importancia relativa de este tipo de recursos es variable dependiendo una vez más, del sitio de alimentación.

En el Golfo de California, Felger y Moser (1973) y Felger *et al.* (1976) señalaron que las tortugas que habitan en el canal del Infiernillo, Sonora, se alimentan principalmente de la fanerógama *Zostera marina*, la cual presenta grandes praderas a lo largo de la zona. Sin embargo, hasta la fecha no se conoce si las tortugas de esta zona

podrían estarse alimentando de otro tipo de recurso, ya que no se han realizado estudios formales respecto a sus hábitos de alimentación o respecto a su ecología en general.

Dentro del golfo, pero en la costa de la Península de Baja California, Seminoff *et al.* (2002) estudiaron la dieta de la tortuga verde dentro de Bahía de los Ángeles, encontrando que las tortugas se alimentan de diversas algas marinas e invertebrados, aunque el componente principal fue el alga roja *Gracilariopsis lemaneiformis*. Géneros como *Gracilaria*, *Codium*, *Ulva* y *Chaetomorpha*, también fueron encontrados en los contenidos estomacales aunque en menor medida. En este caso, se identificaron 25 componentes no algales como esponjas, poliquetos, gorgónidos e incluso bolsas de plástico.

A esta misma población Seminoff *et al.* (2002a) evaluaron el rango de utilización diario del hábitat o “home range”. Al parecer, la utilización del hábitat fue independiente de la talla, sexo o masa de los organismos y en general respondió a la distribución de grandes cantidades de alimento en el área. Sin embargo, los autores señalan que las tortugas también utilizan áreas donde no se encuentran sus recursos principales, por lo que sugieren que son utilizadas como sitios de descanso. Indican además, que la presencia de invertebrados bentónicos en los contenidos estomacales, podría deberse a un consumo oportunista de las tortugas durante sus recorridos hacia sus centros de actividad, el cual contribuiría con un aporte extra de vitaminas, minerales traza o aminoácidos esenciales a su dieta.

En la costa occidental de la Península de Baja California, los estudios sobre alimentación se han enfocado a la zona de Bahía Magdalena, en donde es posible encontrar tortugas verdes durante todo el año y por lo cual ha sido identificada como una prioridad en los esfuerzos de conservación (Nichols *et al.*, 2000). En este sitio, Hilbert y colaboradores (2005), revisaron once estómagos de tortugas muertas, los cuales

presentaron diferencias estacionales en cuanto a la importancia relativa de sus presas, en relación con la disponibilidad del alimento en el medio; además, se observó que algunas especies dominaban en los contenidos y se reportó la presencia de algunos invertebrados.

Posteriormente, en los trabajos de López-Mendilaharsu (2002) y López-Mendilaharsu *et al.* (2005) se analizaron lavados y contenidos estomacales de 24 tortugas dentro y fuera de la bahía; encontrando 15 especies de algas, 2 especies de fanerógamas marinas, 2 especies de invertebrados y frutos de mangle rojo. Estos autores encontraron que las tortugas que se alimentan dentro de la bahía presentan tallas menores que aquellas que fueron capturadas en las aguas adyacentes del Pacífico, lo que se asoció a una respuesta por parte de las tortugas a las diferencias en el nivel de energía oceánica entre ambas zonas (aguas someras y protegidas vs. aguas más profundas y expuestas).

Además, se encontraron diferencias en los componentes de la dieta entre una y otra zona, asociado a la composición y diversidad de la vegetación marina. Dentro de la bahía, las especies principales fueron diversas algas de la familia Gracilariaceae (ej. *Gracilariopsis lemaneiformis*, *Gracilaria pacifica*, *Hypnea johnstonii*), *Codium amplivesiculatum*, *Zostera marina* y algunas especies de invertebrados (sobre todo *Pleuroncontes planipes*); mientras que en las aguas del Pacífico los componentes principales del contenido fueron *Phyllospadix torreyi* y el alga roja *Gellidium robustum* y en menor medida *Codium simulans* y *Pterocladia capillacea*. Estos autores señalan que además de la disponibilidad, es posible que las tortugas seleccionen su alimento de acuerdo a calidad, ya que algunos recursos fueron evitados a pesar de su abundancia (ej. *Sargassum horridum* y *Caulerpa sertularioides*). También se sugieren un consumo oportunista de materia animal durante las temporadas en que algunas especies (ej. *Pleuroncontes planipes*) presentan picos de abundancia dentro de la zona.

Más tarde, González-Ramos y Santos-Baca (2005) describieron el funcionamiento general de la flora macroalgal de una de las áreas de Bahía Magdalena (Estero Banderitas) y establecieron algunos patrones de disponibilidad de las presas que podrían influir en los patrones de alimentación de las tortugas descritos por López-Mendilaharsu (2002). Los resultados de este trabajo, sugieren que la disponibilidad de las especies, es un factor importante en la selección y consumo; ya que las especies preferidas son formadoras de biomasa o bien tienen una distribución espacial y temporal amplia. Lo anterior, garantiza una fuente de alimento abundante y/o constante en tiempo y espacio. Sin embargo, algunas especies no presentaron ningún patrón de disponibilidad; mientras que otras presentaron una alta disponibilidad (ej. *Caulerpa*), pero no se han reportado como parte de la dieta de las tortugas dentro de Bahía Magdalena, por lo que se sugiere que otro tipo de factores podrían estar influyendo en la selección y consumo por parte de las tortugas (ej. capacidad digestiva, digestibilidad y valor nutricional las presas).

Para explicar algunos aspectos de selectividad desde el punto de vista nutricional, Villegas-Nava (2006) realizó un análisis químico proximal (Humedad, Cenizas, Proteína, Fibra Cruda, Extracto Libre de Nitrógeno, Extracto Etéreo y Energía) de las principales especies que forman parte de la dieta de la tortuga verde dentro de Bahía Magdalena. Este estudio, apoya la idea de la selectividad por parte de la tortuga con una relación estrecha tanto en el contenido nutricional como en el contenido energético de las especies, respaldado a través de la teoría del forrajeo óptimo. Al parecer, cuando existe diversidad en el medio, la tortuga selecciona especies que en conjunto le ofrecen mayor disponibilidad de nutrientes y por ende de energía. Una dieta multiespecífica les otorga a las tortugas una alta disponibilidad de nutrientes, al compensar las deficiencias nutritivas de algunas especies con la ingesta de otras.

Finalmente, Talavera *et al.* (2007) con base en la concentración de metales pesados encontrados en tejidos de tortuga marina, contenidos estomacales y recursos en el medio, señalaron que las tortugas que se localizan en Bahía Magdalena, podrían estar utilizando recursos fuera del estero Banderitas (sitio que se ha asumido como principal área de alimentación dentro de la bahía) y que es probable que las tortugas se estén alimentando fuera de la bahía, en alguna costa cercana rica en nutrientes.

1.2.3 Los isótopos estables como herramienta en los estudios de alimentación

Las diferencias isotópicas que se presentan en la naturaleza, son producto de reacciones químicas, físicas y biológicas que promueven la discriminación entre los isótopos pesados y ligeros. Hasta la fecha, la técnica de los isótopos ha sido utilizada para estudiar las relaciones tróficas y para la identificación de fuentes de nitrógeno y carbono, en un gran número de ecosistemas (ej. Stepheson *et al.*, 1986; Smith *et al.*, 2005; Leite *et al.*, 2002; Kaehler *et al.*, 2000).

Este método se basa en el hecho de que los valores isotópicos de los consumidores, reflejará la composición isotópica de sus diferentes presas con la condición general de que el consumidor estará apreciablemente enriquecido en ^{13}C o ^{15}N en relación a su fuente de alimento (DeNiro y Epstein, 1981; Peterson y Fry, 1987; Seminoff *et al.*, 2006). La señal isotópica entonces, es transmitida desde los productores primarios hasta los consumidores tope, lo que permite trazar el flujo de carbono y nitrógeno a través de la red de alimentos (Fig. 1).

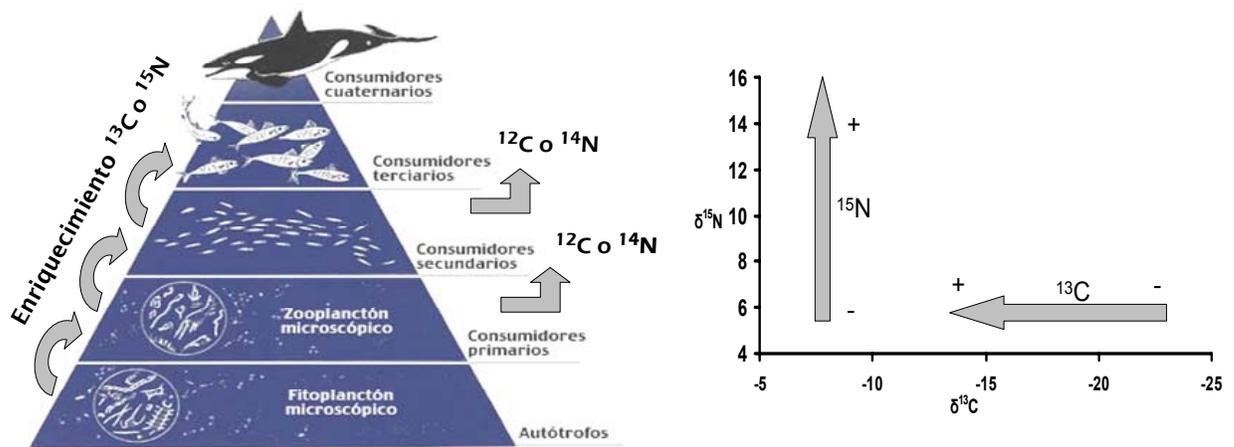


Figura1.- Enriquecimiento de los isótopos ^{15}N o ^{13}C a través de la cadena trófica, debido a la excreción o respiración preferencial de los isótopos ligeros (izq). Representación grafica del comportamiento de los valores isotópicos al presentarse un enriquecimiento en ^{15}N o ^{13}C (der.).

Los mecanismos por los que sucede el enriquecimiento isotópico a lo largo de la estructura trófica, aun no son muy claros; sin embargo, estos dependen de la asimilación diferencial de los principales componentes bioquímicos de la dieta y de las actividades metabólicas, lo que resulta en la excreción selectiva o catabolismo de los isótopos livianos (Peterson y Fry, 1987), así como durante la aminación y transaminación de los aminoácidos y por la ruta que siguen las fracciones dietarias hacia tejidos específicos. La discriminación isotópica también puede verse afectada por la edad de los organismos, el estatus nutricional, estrategia digestiva y la calidad del alimento.

En el caso de los productores primarios, los valores isotópicos dependerán en gran medida de la concentración de sus fuentes originales de nutrientes con sus respectivos valores isotópicos, los cuales se ven afectados por procesos físicos, químicos y biológicos de determinado hábitat.

Los valores isotópicos en los materiales de interés biológico se expresan en partes por mil (‰) y son reportados como valores delta: $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ respectivamente. Estos

valores representan la abundancia relativa del isótopo pesado en relación con el isótopo ligero comparado con un estándar arbitrario pero internacional (Mc Kinney *et al.*, 1950).

Típicamente, se ha establecido que el factor de enriquecimiento o de discriminación isotópica para $\delta^{15}\text{N}$ en los consumidores respecto a sus presas, es de aproximadamente 3 a 5 ‰ mayor que en sus presas; mientras que, para $\delta^{13}\text{C}$, incrementa de 0 a 1 ‰ en cada nivel trófico (DeNiro y Epstein, 1981; Peterson y Fry, 1987; Hobson y Welch, 1992). De esta forma, el análisis simultáneo de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en los organismos, permite detectar los componentes de la dieta, al corregir los valores isotópicos en los consumidores con el factor de discriminación isotópica y contrastándolos con las señales de las presas.

En particular, el incremento consistente de los isótopos de nitrógeno desde los productores hasta los consumidores, permite determinar el número total de niveles tróficos en las redes de alimentos (Minawa y Wada 1984; Hobson *et al.*, 1994). En cambio, la proporción de isótopos de carbono cambia poco a través de las cadenas tróficas, por lo que se utiliza como indicadora del origen de las fuentes de nutrición (Vander Zanden y Rasmussen, 1999; Román-Reyes, 2003).

Esta característica en los isótopos de carbono, se ha utilizado para estudiar la conducta migratoria (Sechell *et al.*, 1989) o los movimientos de los individuos, ya que es posible establecer los hábitats que han sido ocupados para la alimentación (ej. cadenas tróficas basadas en la producción bentónica vs. pelágica, y entre la costera vs. oceánica) (Hobson *et al.*, 1994; Román-Reyes, 2003; Hatase *et al.*, 2006) o los grupos residentes de áreas específicas, ya que la señal isotópica dependería de la localidad geográfica en que se alimentan.

Una ventaja fundamental de ese método se relaciona con el tiempo de integración de la dieta que puede proporcionar el análisis de los isótopos en tejidos con distintas

tasas metabólicas. De esta forma se pueden saber de manera indirecta cuales fueron los componentes de la dieta a lo largo de un determinado tiempo, determinado a su vez, por el tiempo de residencia de cada uno de los elementos (carbono o nitrógeno). (Hobson y Clark, 1992a,b; Hobson y Clark, 1993). De esta forma, los cambios de la dieta en un corto plazo, podrán ser observados en tejidos como la sangre, con rápida tasa de recambio, reflejando la ingestión y metabolismo reciente; mientras que los cambios a largo plazo, podrá observarse en tejidos con bajo metabolismo como la piel y los huesos. Es por esto, que se recomienda analizar diversos tejidos, para lograr la integración de información a diferentes escalas de tiempo (Tieszen *et al.*, 1983).

Desafortunadamente, esta técnica también posee ciertas limitaciones prácticas, sobretodo porque requiere de supuestos que pueden verse afectados por muchas fuentes potenciales de variación, lo que puede limitar la interpretación de los resultados. Los supuestos que se han manejado (Jackson y Harkness, 1987) para esta técnica son: 1) las distintas fuentes de alimento deben de ser distinguibles entre ellas, 2) la señal isotópica no debe de variar radicalmente con el tiempo o por efecto de las condiciones ambientales, 3) dentro de un área en particular, las señales presentan una mínima variación espacial, 4) la composición isotópica del consumidor debe ser igual al promedio ponderado de la composición isotópica de todos los componentes de la dieta, 5) la dieta del organismo no debe de cambiar tan rápidamente que no pueda ser reflejada por el método.

Las fuentes de variación que pueden afectar a estos supuestos y que deben de considerarse cuando se pretende llegar a resultados correctos al realizar el análisis de los isótopos estables se relacionan con diversos procesos físicos, químicos y biológicos que son impuestos por el ambiente y la propia fisiología de los organismos. Entre estos encontramos: la variación asociada a las fuentes primarias de carbono y nitrógeno (ej. fotosíntesis, contaminación, nitrificación, entre otros), la variación que se presenta entre

organismos de una misma especie (ej. diferencias geográficas de temperatura y salinidad, diferencias de edad, de salud, tasa de crecimiento, etcétera) y la variación dentro de los organismos o entre tejidos (ej. diferencias en la composición bioquímica y tasas de recambio) (ver revisión en Román-Reyes, 2003;).

1.2.4. Isótopos estables en tortugas marinas

La técnica de los isótopos estables ha sido utilizada para conocer la dieta y evaluar el nivel trófico de diversos organismos, como aves (Hobson y Clark, 1992ab; Morrissey *et al.*, 2004), mamíferos (Hobson *et al.*, 1996), peces (Leite *et al.*, 2002) y algunos reptiles (Ulrich *et al.*, 2002) incluyendo tortugas marinas (ej. Godley *et al.*, 1998; Hatase *et al.*, 2002; Biasatti, 2004; Hatase *et al.*, 2006; Seminoff *et al.*, 2006).

Con el fin de determinar la ecología trófica de algunos reptiles, Ulrich y colaboradores (2002) analizaron la alimentación de diversas especies de lagartijas del género *Varanus*, con especial atención en la lagartija monitor (*Varanus mabitang*) un reptil herbívoro. Para esto, determinaron la composición isotópica en uñas, contenido estomacal y tejidos suaves de los reptiles y en algunos de sus recursos potenciales. Entre los reptiles, se encontró una correlación lineal negativa en el caso de $\delta^{13}\text{C}$ y positiva en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, desde los herbívoros hasta las especies carnívoras, lo que concuerda con el supuesto de que al incrementar el nivel trófico aumenta la proporción isotópica de N (por la pérdida de ^{14}N) y disminuye la proporción de C (por la pérdida del C^{12}). De acuerdo a esto, se encontró que *V. mabitang* es un herbívoro estricto.

En el primer trabajo con isótopos estables que se realizó con tortugas marinas, Godley *et al.* (1998) determinaron el estatus trófico de tres especies de tortuga marina. En este estudio, se estimó la proporción isotópica de C y N en colágeno de hueso, proteínas del huevo y en la queratina del caparazón, en tortuga amarilla (*Caretta caretta*), tortuga

laúd (*Dermochelys coriacea*) y tortuga verde (*Chelonia mydas*) del mar Mediterráneo. Estos autores encontraron que la tortuga amarilla ocupa un lugar trófico más alto que la tortuga verde, con la tortuga laúd ocupando una posición intermedia, lo cual coincide con las diferentes dietas propuestas para cada una de las especies.

Los autores señalan que el valor isotópico promedio de $\delta^{15}\text{N}$ para el colágeno de hueso en la tortuga verde (9.9 ‰), indica un probable consumo de materia animal al ser comparado con el rango de valores obtenidos para la vegetación marina (de 1,1 a 4 ‰), considerando un factor de discriminación isotópica de 3 a 4 ‰. En el caso de la tortuga amarilla, se encontró una correlación positiva entre los valores isotópicos y la talla, lo que denota una tendencia a incrementar el nivel trófico con la edad; sin embargo en el caso de la tortuga verde, no se presentó una relación con la talla (CCL promedio=41.2 cm., DE=18,5, rango= 21 a 98 cm, n=38), contrario a lo esperado por los autores: con tortugas de menor tamaño y valores altos en $\delta^{15}\text{N}$ y bajos en $\delta^{13}\text{C}$ en el tejido de menor tasa de recambio (colágeno de hueso); lo que reflejaría un cambio en el nivel trófico asociado al crecimiento. Los autores sugieren que esta falta de correlación puede deberse a que el colágeno podría presentar un tiempo de integración menor y por lo tanto no estaría reflejando la dieta de las primeras etapas de vida.

Hatase *et al.* (2002) examinaron las señales isotópicas en la yema de huevo de la tortuga caguama (*Caretta caretta*) en una población anidadora de Japón, con el fin de establecer de manera indirecta los sitios de alimentación que las tortugas hembras adultas ocupaban durante el invierno (tiempo en el que se presenta la vitelogénesis). Estos autores encontraron variaciones locales en la utilización del hábitat, con individuos que se alimentan cerca de la costa, con valores de $\delta^{13}\text{C}$ relativamente más altos que los encontrados en aquellos que se alimentaban lejanos a la costa. También observaron que ambas proporciones isotópicas incrementaron conforme a la talla de las tortugas, por lo

que sugieren una probable separación de los hábitats de alimentación por efecto del tamaño.

Posteriormente Biasatti (2004) analizó los valores isotópicos del carbonato en huesos de tortugas marinas (*Dermochelys coriacea*, *Lepidochelys olivacea* y *Chelonia mydas*), encontrando que la dieta es la principal influencia en la composición isotópica de este tejido. Además de la dieta, la autora señala factores secundarios fisiológicos y geográficos (localidad, rango migratorio, interacciones fisiológicas con el agua de mar y especialmente la fisiología respiratoria) que deben considerarse al realizar este tipo de análisis.

En este caso, encontraron que para la tortuga laúd y golfinia, las señales en los tejidos son sumamente consistentes con los valores encontrados en sus recursos; mientras que en la tortuga verde (aunque la dieta tuvo una influencia considerable), los procesos de respiración se presentaron como una influencia adicional, debido a la acumulación de CO₂ en la sangre durante el buceo y su posterior incorporación al carbonato de los huesos. Al parecer la composición isotópica del músculo y el colágeno no se ven afectados por la respiración.

Hatase *et al.* (2006) realizaron un análisis de los isótopos estables (en conjunto con telemetría satelital) en tortuga verde de Japón, para confirmar el uso de algunas áreas oceánicas (>200m) como sitios alternativos de alimentación, diferentes a sus centros neríticos. Se hizo la comparación de los valores isotópicos entre las tortugas y sus presas, encontrándose que 69% de las hembras que anidan en las Islas de Ogasawara, utilizan los hábitats de alimentación neríticos (herbívoros neríticos); mientras que 31% se alimentan en áreas oceánicas (planctívoros oceánicos). Estos autores no encontraron una relación entre el tamaño de los individuos y los valores isotópicos, lo que indica que no

existen diferencias en la utilización del hábitat por efecto de la edad y sugieren que los cambios de hábitat son facultativos y no en relación a cambios ontogénicos.

Recientemente, Seminoff *et al.* (2006) establecieron los primeros datos sobre discriminación isotópica en tortugas marinas. La información se obtuvo en tejidos de (sangre y piel) organismos mantenidos bajo condiciones de laboratorio. Estos autores señalan la importancia de contar con una validación de las bases teóricas y experimentales de este método en tortugas marinas, ya que hasta la fecha sólo se contaba con información de otros organismos marinos que era utilizada para los análisis isotópicos en tortugas marinas. En este trabajo, se encontraron diferentes factores de discriminación isotópica, con un rango de -1.11‰ (eritrocitos) a $+0.17\text{‰}$ (piel) para $\delta^{13}\text{C}$ y para $\delta^{15}\text{N}$ de $+0.22\text{‰}$ (eritrocitos) a $+2.92\text{‰}$ (plasma sanguíneo), los cuales contrastan con los factores que han sido utilizados con las tortugas marinas.

Con el fin de interpretar de manera adecuada, la información que puede obtenerse del estudio de los isótopos estables (ej. migración, ecología alimenticia y estructura trófica de los ecosistemas) Reich *et al.* (2007) estimaron el tiempo que se requiere para que la proporción de los isótopos de C y N alcancen el equilibrio (tasa de recambio, medido en términos de vida media) en diversos tejidos de la tortuga amarilla (*Caretta caretta*). Los tejidos presentan diferentes tasas metabólicas, incorporando los isótopos de sus dietas a diferentes tasas, por lo que cada tejido mostró diferentes tiempos de recambio. Los valores obtenidos en diferentes tejidos, permiten realizar una interpretación más adecuada de la dieta y uso del hábitat sobre diferentes escalas de tiempo. Estos valores pueden únicamente obtenerse bajo condiciones controladas y nunca habían sido determinadas para tortugas marinas.

Los autores encontraron que el tiempo de vida media de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ estuvo entre los 11 a 57 días utilizando una dieta con un valor isotópico bajo (principalmente soya =

dieta 1) y entre 10 a 37 días con una dieta de un valor isotópico mayor (principalmente sardina = dieta 2). Debido a que el tiempo de recambio se alcanza después de aproximadamente 4 veces la vida media, el rango obtenido fue de 44-228 días en la dieta 1 y de 40 a 148 días en la dieta 2.

Para la piel y el plasma sanguíneo (dieta 1), el tiempo de vida medio estimado para el $\delta^{15}\text{N}$ fue de 40 días (160 días el tiempo de recambio) y 11 días (44 días el tiempo de recambio) respectivamente; mientras que para el $\delta^{13}\text{C}$ fue de 57 días (228 días el tiempo de recambio) en piel y 13 días (52 días el tiempo de recambio) en el plasma sanguíneo. Utilizando la dieta 2, el tiempo de vida medio estimado para el $\delta^{15}\text{N}$ fue de 31 días (124 días el tiempo de recambio) y 10 días (40 días el tiempo de recambio) para piel y el plasma sanguíneo respectivamente; mientras que para el $\delta^{13}\text{C}$ fue de 33 días (138 días el tiempo de recambio) en piel y 21 días (84 días el tiempo de recambio) en el plasma sanguíneo.

Revelles *et al.* (2007) evaluaron la proporción isotópica de carbono y nitrógeno en diversos tejidos de la tortuga caguama o amarilla (*Carretta caretta*) del Mediterráneo. En este trabajo se consideraron tres grupos de organismos en relación a la forma de captura y al estado de los organismos (vivos o muertos): 1) organismos vivos capturados manualmente, 2) organismos muertos capturados en redes de fondo y 3) organismos muertos capturados en redes de deriva. Los autores esperaban que los primeros dos grupos representaran a organismos bentónicos-costeros y el último a organismos pelágicos.

Se encontraron diferencias significativas entre los tejidos en los tres grupos de organismos, coincidiendo con estudios anteriores (Seminoff *et al.*, 2006) en los cuales los valores isotópicos en la piel son más altos que en la sangre. También se observó que los organismos de un mismo hábitat no presentan diferencias isotópicas independientemente

de su estado y aunque las tortugas fueron capturadas en sitios cercanos a la costa, sus presas fueron principalmente pelágicas. Los autores replantean la posición trófica de la tortuga amarilla dentro del Mediterráneo, ya que de acuerdo al análisis de isótopos estables, las tortugas se alimentan principalmente de cnidarios zooplanctívoros y no de peces (al observar un nivel trófico menor a otras especies de ictiófagos) como se había sugerido anteriormente.

Finalmente Plouffe-Malette *et al.* (2007) determinaron la variabilidad que podría presentarse en las estrategias de alimentación entre distintas poblaciones de tortuga verde en el Pacífico Este, desde Estados Unidos hasta Perú, utilizando la proporción de isótopos de nitrógeno y carbono en la piel de los organismos. También se analizó el efecto que podría tener al año de muestreo, la talla de los organismos, la temperatura y localidad de muestreo en el estatus trófico de la tortuga verde.

En este trabajo, no se observó una variación interanual en $\delta^{15}\text{N}$, por lo que se considera que la piel es una buena herramienta para establecer el estatus trófico en el largo plazo (años). Tampoco se observó un efecto por la talla de los organismos ni por la temperatura en el medio. Las presas potenciales presentaron diferencias significativas en los isótopos de nitrógeno pero no en los de carbono, lo que se asocia al tamaño de muestra, por lo cual sugieren analizar a detalle los valores isotópicos de las presas potenciales en todos los sitios de muestreo. De acuerdo a este trabajo mediante el índice de disparidad hábitat-tejido ($\Delta_{i-t} \delta^{15}\text{N}$), en San Diego, Bahía de los Ángeles, Canal del Infiernillo y las Islas Galápagos, las tortugas no son organismos exclusivamente herbívoros, aunque al parecer en Bahía Magdalena sí lo son.

1.3 HIPÓTESIS y OBJETIVOS

1.3.1 HIPÓTESIS

La tortuga verde dentro de Bahía Magdalena es un organismo herbívoro cuya dieta está constituida principalmente de macroalgas, aunque la composición de la dieta podría verse afectada por la edad del individuo y por la estación en la cual se está alimentando.

1.3.2 OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los hábitos de alimentación de la tortuga verde dentro de Bahía Magdalena, comparando los patrones isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en sus tejidos (piel y sangre) con las señales isotópicas de sus recursos potenciales.

Objetivos particulares

- Establecer las variaciones naturales de la proporción isotópica de C y N en las presas potenciales (fanerógamas marinas, macroalgas e invertebrados) de *C. mydas*.
- Describir los patrones de variación isotópica en los tejidos *C. mydas* considerando el tiempo de integración de cada tejido, así como las variaciones estacionales y distintas clases de tallas.
- Comparar los patrones de variación isotópica de los tejidos de *C. mydas* con los valores isotópicos de las presas potenciales para establecer los posibles componentes de su dieta.
- Comparar los valores isotópicos de C y N de las tortugas capturadas en Bahía Magdalena con los valores obtenidos en otros sitios de alimentación de la Costa Occidental de la Península de Baja California (San Ignacio y Punta abreojos).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

Bahía Magdalena se localiza en la costa occidental del estado de Baja California Sur (Fig. 1). Esta bahía ha sido reconocida como un sitio de importancia biológica, sobretodo por su alta productividad, principalmente pesquera (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 1989; Lluch-Belda *et al.*, 2000).

La alta productividad de esta zona, se debe a la presencia de las corrientes oceánicas dominantes del Pacífico, la mezcla de aguas cálidas y frías, así como a la relativa protección de las islas de barrera, que en conjunto provocan, un fenómeno que semeja a las condiciones de surgencia todo el año, con un consecuente aporte de nutrientes hacia la superficie que aumentan gradualmente su fertilidad; además, las surgencias que ocurren frente a la bahía alcanzan a penetrar a su interior incrementando la productividad de la zona.

Respecto a los patrones de temperatura y nutrientes dentro de la bahía, se ha observado que durante el mes de febrero, las temperaturas son bajas con poca variación de la salinidad; mientras que durante los meses de mayo y julio las temperaturas son variables aunque alcanzan valores muy altos; en noviembre y octubre las temperaturas son bajas y se mantienen constantes. En la bahía, se presenta una variación en la distribución espacial y temporal de los nutrientes y la clorofila *a*: con concentraciones altas de nutrimentos en noviembre y mayo, bajas en febrero y concentraciones intermedias entre los dos meses anteriores en julio y octubre (Rosales-Villa, 2004).

En la zona se han observado tres patrones de distribución temporal en nutrientes (nitrito, nitratos, silicatos, entre otros) y Clorofila *a*. Con concentraciones altas durante noviembre y mayo, y en febrero condiciones homogéneas de los nutrientes y clorofila *a*,

aunque fueron las concentraciones más bajas del muestreo. Durante julio y octubre, ambos parámetros presentaron valores intermedios.

Espacialmente, se ha observado que existe una importante influencia de las aguas oceánicas del pacífico a través de la boca de la bahía (especialmente durante los meses de noviembre, mayo y julio), con valores altos de clorofila *a* y bajas temperaturas, sobretodo en el área de la boca; así como una generación de nutrientes dentro de la bahía por efecto de las mareas. Otros trabajos (Nienhius y Guerrero-caballero, 1985) mencionan que en el área, la mineralización de material orgánico proveniente de los manglares que se localizan en la zona de canales y en la parte oriental de la bahía, al parecer son otra importante fuente de nutrientes.

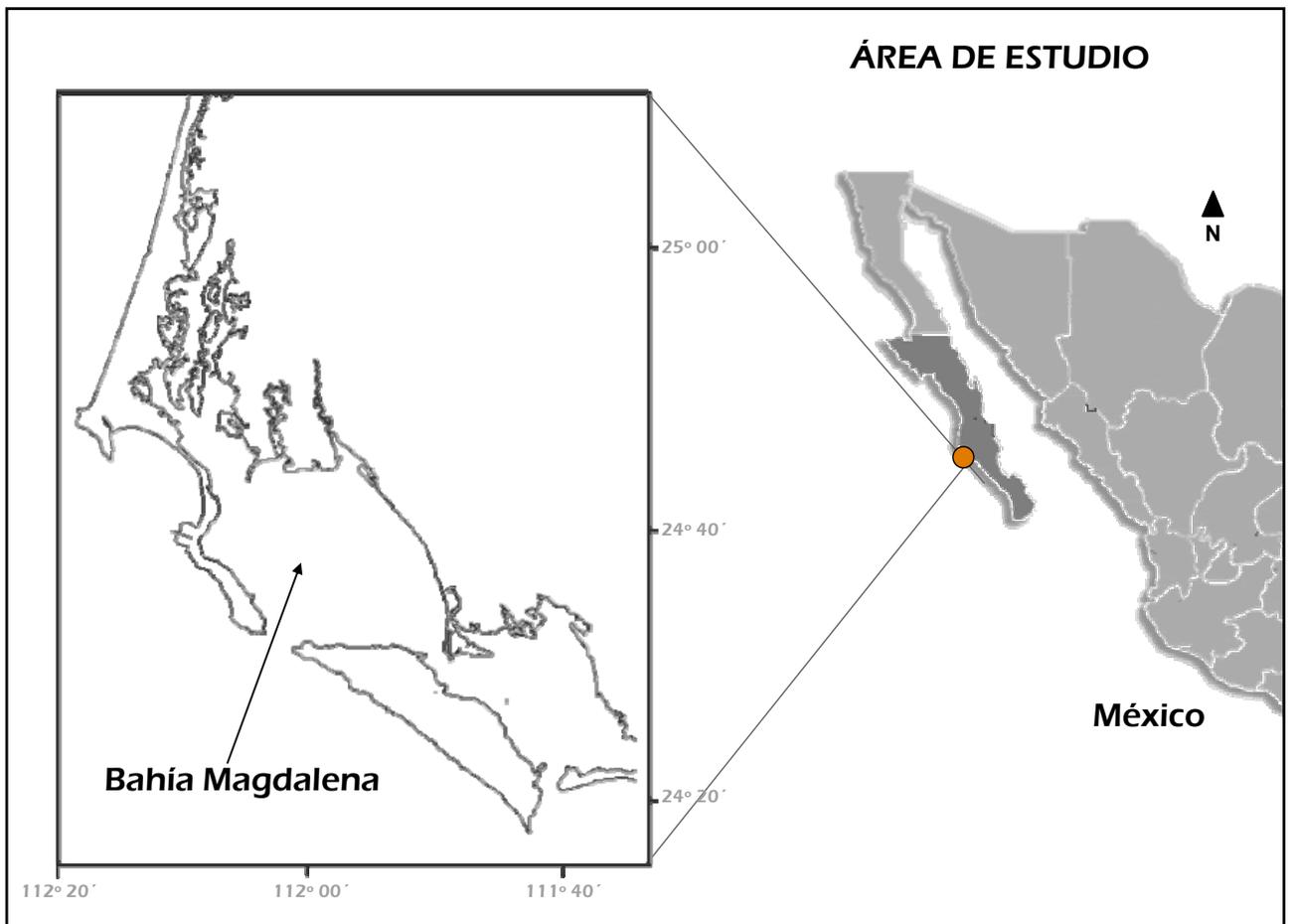


Figura 2. Localización del Complejo Lagunar Bahía Magdalena en la Península de Baja California.

2.2 COLECTA DE MUESTRAS Y PREPARACIÓN EN CAMPO

La colecta de las presas potenciales (macroalgas, fanerógamas marinas e invertebrados) se realizó durante los meses de febrero 2005, mayo 2006, julio 2006 y febrero 2007. Las muestras fueron colectadas de manera aleatoria a lo largo de la bahía, en sitios en donde previamente se había identificado su presencia (Obs. Pers). En cada uno de los sitios se realizaron inmersiones con ayuda de equipo SCUBA y las muestras fueron recolectadas de manera manual. Todas las muestras se colocaron en bolsas de plástico y se congelaron para su posterior análisis. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron limpiadas, secadas a la sombra, identificadas y empaquetadas para su traslado al Laboratorio de Isótopos estables en la Jolla, California. E.U.

La colecta de piel y plasma sanguíneo de tortuga marina, se realizó con organismos capturados durante los monitoreos mensuales del Grupo Tortuguero dentro de Bahía Magdalena, en los meses de septiembre 2005, octubre 2005, noviembre 2005, diciembre 2005, febrero 2006, Abril 2006, mayo 2006, junio 2006, julio 2006 y febrero 2007. Durante los monitoreos, se utilizaron redes de enmalle de 100m, las cuales se colocaron de manera perpendicular a la costa, durante 24hr y revisadas cada dos horas para evitar la asfixia de los ejemplares.

Las muestras de sangre (n=16) se obtuvieron con ayuda de un vacutainer con heparina de litio (HLi) obteniendo aproximadamente $\approx 3\text{ml}$ de cada organismo, vía seno dorsal cervical (Owens y Ruiz, 1980). A continuación, se tomó aproximadamente la mitad de cada una de las muestras, para poder separar el plasma sanguíneo y los componentes celulares (eritrocitos) de esta muestra. Con fin de separar las fracciones sanguíneas, las muestras fueron centrifugadas a 5000 rpm [$=1118 \times g$] durante 5 minutos. Posteriormente, todas las fracciones se colocaron en nitrógeno líquido para trasladarlas al

laboratorio y depositarlas en un ultracongelador (-80°C) en el Laboratorio de Ecología química y toxicología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBnor).



Figura 3. Toma de muestras de sangre (a) y piel de tortuga verde (b).

Las muestras de piel (n=29) se obtuvieron de la superficie dorsal del cuello (aproximadamente de 0.1g a 0.25g de peso húmedo), enfrente de los primeros escudos marginales, utilizando pinzas y bisturí. Todas las muestras se colocaron en frascos de vidrio con sal para su posterior tratamiento. Al finalizar, se registró el largo recto del caparazón (LRC; $\pm 0.1\text{cm}$) como índice de la talla.

2.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES

La preparación de las muestras para el análisis de la proporción de isótopos estables de carbono y nitrógeno se realizó en el Laboratorio de la NOAA (Southwest Fisheries Science Center) en La Jolla, California. La preparación y análisis de las muestras se hizo de acuerdo con el protocolo seguido por Seminoff et al (2006). En total se colectaron 23 especies de presas potenciales (vegetación e invertebrados), las cuales fueron homogeneizarlas con ayuda de un mortero. Por cada especie, fueron

homogeneizados de 1 a 5 individuos, los cuales se colocaron en viales especiales para su posterior análisis.

En el caso de las muestras de plasma sanguíneo, estas fueron secadas a 60°C por 24 horas en un horno y se colocaron en los viales especiales; mientras que las muestras de piel se colocaron directamente en los viales. Todas las muestras (recursos potenciales y tejidos de tortuga verde) fueron colocadas en un aparato Soxhlet durante 24 horas, con una mezcla de solventes en una proporción 1:1 de éter de petróleo y etil éter, con el fin de extraer los lípidos, que podrían interferir en el análisis de isótopos estables. Posteriormente, las muestras se colocaron en un horno a 60°C por 24 horas para eliminar los residuos de solventes.



Figura 4. Material utilizado en la homogeneización de las muestras

Posteriormente, con ayuda de unas pinzas de acero inoxidable y microespátulas se colocaron entre 0.6 y 1.2 mg de cada muestra (presas potenciales y tejidos de tortuga) en cápsulas de aluminio esterilizadas y estas a su vez, en una charola con tapa especial para el análisis. Todas las muestras se analizaron por medio de un espectrómetro de

masas de razones isotópicas, en el Laboratorio de Isótopos Estables del Instituto de oceanografía del SCRIPPS, La Jolla, California.



Figura 5. Aparato Soxhlet.

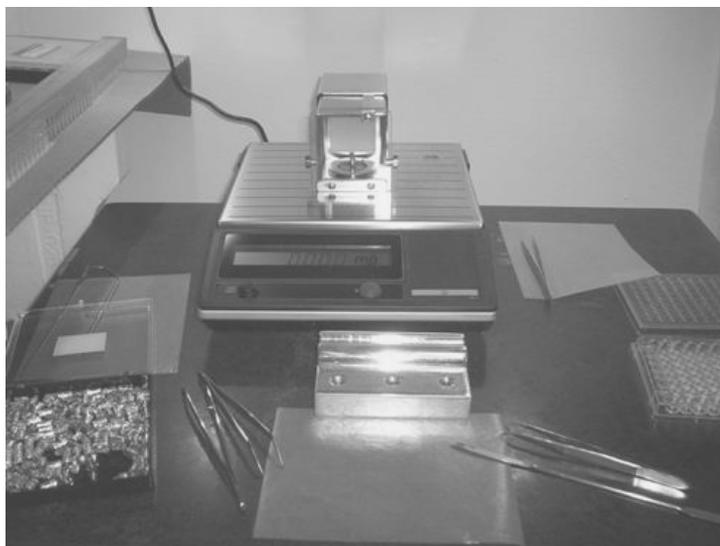


Figura 6. Equipo para pesar y encapsular las muestras para el análisis en el espectrómetro de masas.

Para el análisis isotópico final, se utilizó un sistema elemental de combustión Costech ECS 4010 en interfase con un espectrómetro de masas de razones isotópicas de flujo continuo Delta Plus (Finningan MAT), mediante un dispositivo ConFlo III (Finningan MAT). Las proporciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno, se expresaron como valores δ en partes por mil (‰) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\delta X (\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} - 1 \right) \times 1000 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Donde $\delta X(\text{‰})$ es $\delta^{15}\text{N}$ o $\delta^{13}\text{C}$, y R_{muestra} y $R_{\text{estándar}}$ son la proporción de $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ o $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ en la muestra y en el estándar respectivamente. $R_{\text{estándar}}$ para ^{13}C fue acetanilida de Baker ($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}$; $\delta^{13}\text{C} = -10,4\text{‰}$) calibrada mensualmente con “PeeDee Belemnita”

(PDB) el estándar internacional; $R_{\text{estándar}}$ para ^{15}N fue IAEA N1 sulfato de amonio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\delta^{15}\text{N} = 0,4 \text{ ‰}$, calibrado contra nitrógeno atmosférico N_2 . Todas las corridas analíticas incluyeron muestras del material estándar insertado cada 6 o 7 muestras para calibrar el sistema y para compensar cualquier desviación a lo largo del tiempo. Cientos de réplicas del material estándar, indican un error en la medición de 0,05 y 0,095 ‰ para el carbón y el nitrógeno respectivamente.

2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y ASIGNACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA DIETA

Uno de los supuestos necesarios para poder identificar las diferentes fuentes de alimento para cualquier organismo mediante un análisis de isótopos estables, es que las presas potenciales puedan ser distinguidas estadísticamente entre ellas (especialmente en el valor de $\delta^{13}\text{C}$) y que los consumidores coincidan con los valores isotópicos sus presas. Para estimar las posibles diferencias, se aplicaron los análisis estadísticos necesarios entre los grupos de presas potenciales y posteriormente se compararon con los valores obtenidos en los tejidos de *C. mydas* en general y considerando las posibles fuentes de variación de la dieta.

En primer lugar, a todos los grupos de datos se les realizaron pruebas *a priori* para determinar la normalidad de los datos, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1996) y la existencia o no de homogeneidad de varianza con la prueba de Bartlett (Zar, 1996). Debido a que todos los datos cumplieron los supuesto de normalidad y homocedasticidad, se aplicaron pruebas las pruebas paramétricas correspondientes.

Se utilizó un análisis de variancia (ANDEVA) para estimar las diferencias isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) entre las presas potenciales de la tortuga verde. La comparación se realizó tanto a nivel grupo (invertebrados, fanerógamas marinas, algas verdes, rojas y

café) como a nivel específico (ej. *Zostera marina*, *Colpomenia tuberculata*, *Gracilaria textorii* y *G. andersonii*). Subsecuentemente, se realizó la prueba HSD de Tukey para encontrar diferencias significativas entre pares de presas potenciales. En aquellos grupos que pudieron recolectarse durante todos los meses de muestreo (algas verdes, rojas, café y las fanerógamas marinas), también se compararon los valores isotópicos de las presas de manera temporal,

El mismo análisis (ANDEVA) se utilizó para probar la hipótesis nula de no diferencia en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ entre las muestras de la tortuga verde. Las comparaciones se realizaron entre las señales isotópicas totales en plasma sanguíneo y piel, considerando que estos tejidos representan diferentes tiempos de integración de la dieta; de aproximadamente 2 meses en plasma sanguíneo y de 5 a 6 meses en piel (plasma sanguíneo: en promedio 42 días para $\delta^{15}\text{N}$ y 68 días para $\delta^{13}\text{C}$; piel: en promedio 142 días para $\delta^{15}\text{N}$ y 183 días para $\delta^{13}\text{C}$).

Por cada tejido se estimaron las posibles diferencias en los valores isotópicos por efecto de las temporadas, las clases de talla y las localidades (Bahía Magdalena vs San Ignacio y Punta Abreojos). En caso de ser necesario, se aplicó la prueba HSD de Tukey para encontrar diferencias significativas entre pares de datos. En el análisis por talla, se hizo una correlación lineal con el fin de encontrar algún efecto por la talla en los valores isotópicos. Todas las pruebas se realizaron con la ayuda del programa Statistica versión 6.0.

Para mostrar el efecto de los factores de discriminación en la interpretación de la dieta, se procedió a corregir los valores en los tejidos de tortuga utilizando: 1) el factor de discriminación isotópico teórico (de 3-5 ‰ para $\delta^{15}\text{N}$ y de 0-1 ‰ para $\delta^{13}\text{C}$) y 2) los factores de discriminación isotópica disponibles para la tortuga verde (SEFF06) en plasma sanguíneo (de 2,92‰ para $\delta^{15}\text{N}$ y de -0,12‰ para $\delta^{13}\text{C}$) y piel (de 2,8‰ para $\delta^{15}\text{N}$ y de

0,17‰ para $\delta^{13}\text{C}$) (Seminoff *et al.*, 2006). Dichas correcciones se realizaron de acuerdo a la ecuación de Cerling y Harris (1999), que establece el factor de discriminación entre un depredador y su presa (Δ_{dt}):

$$\Delta_{dt} = \bar{\delta}_{\text{tejido}} - \bar{\delta}_{\text{dieta}} \dots \dots \dots (3)$$

Donde $\bar{\delta}_{\text{tejido}}$ o $\bar{\delta}_{\text{dieta}}$, representan la proporción isotópica promedio ($\delta^{13}\text{C}$ o $\delta^{15}\text{N}$) de las tortugas o sus presas respectivamente. Para obtener el valor corregido que nos permita relacionar a las tortugas con sus presas con base al factor de discriminación entre presa y depredador, se procedió a despejar $\bar{\delta}_{\text{dieta}}$ de (3):

$$\bar{\delta}_{\text{dieta}} = \bar{\delta}_{\text{tejido}} - \Delta_{dt} \dots \dots \dots (4)$$

Las señales isotópicas promedio en plasma sanguíneo y piel fueron comparadas con los valores encontrados en los grupos de presas analizados, por medio de una gráfica de $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{15}\text{N}$ y se procedió a identificar de manera visual las posibles relaciones tróficas. También se compararon las señales isotópicas corregidas de tortuga verde con las posibles presas, de acuerdo a la premisa de que las señales isotópicas cambian de una manera predecible desde las presas hasta sus consumidores (DeNiro y Epstein, 1981) y considerando el factor de discriminación establecido por Seminoff *et al.* (2006) (denominado en este trabajo como SEFF 06).

De esta forma, las señales de aquellos grupos que están siendo consumidos por la tortuga, tendrían que coincidir con las señales corregidas de la tortuga verde, siempre y cuando las señales de las presas pudieran distinguirse estadísticamente entre ellas. Para la reconstrucción de la dieta, también se consideraron las diferencias estacionales y entre tallas de la proporción isotópica en los tejidos de *C. mydas*, en los tejidos en que se encontraron diferencias estadísticas al considerar estas fuentes de variación.

Además, se realizó un análisis de similitud (Statistica versión 6.0) entre los grupos potenciales de presas y los tejidos de *C. mydas*, ya que este tipo de análisis establece relaciones entre grupos de manera cuantitativa, por lo que puede utilizarse como herramienta para establecer un posible esquema de los niveles tróficos (utilizando $\delta^{15}\text{N}$) y las relaciones tróficas de la tortuga (utilizando $\delta^{13}\text{C}$). Para esto, se utilizó como regla de agrupación la del vecino más cercano (“nearest neighbor”) y se utilizaron como distancias de ligado, las distancias euclidianas, las cuales son simplemente las distancias geométricas en un espacio multidimensional: Distancia (x,y) = $\{\sum_i (x_i - y_i)^2\}^{1/2}$(2). Se consideraron como significativas, todas las agrupaciones formadas a una distancia del 80% (distancia de ligado/distancia máxima* 100).

También, se compararon visualmente los valores isotópicos (corregidos con el factor de discriminación SEFF06) de las tortugas de Bahía Magdalena con los encontrados en otros sitios de alimentación de la costa occidental de la Península de Baja California (Laguna San Ignacio y Punta Abreojos). En este caso, para asignar las presas principales, se procedió a utilizar los valores isotópicos disponibles de Bahía Magdalena, debido a que no se contaba con muestras de hábitat de los otros sitios.

Finalmente se establecieron las clases de tallas dentro de cada localidad y se realizó un análisis de variancia de una vía ANDEVA (con sus respectivas pruebas *a priori* de normalidad y homocedasticidad) para establecer posibles diferencias en el tamaño de los organismos (LRC) entre las tres localidades de muestreo (Bahía Magdalena, Laguna San Ignacio y Punta Abreojos).

3. RESULTADOS

3.1 SEÑALES ISOTÓPICAS DE LAS PRESAS POTENCIALES

En total se colectaron 39 especies de presas potenciales, incluyendo algas verdes, rojas y cafés, dos especies de fanerógamas marinas y dos grupos de invertebrados marinos (Tabla I). Las señales de $\delta^{15}\text{N}$ que se encontraron en estos grupos variaron ligeramente (Fig. 6), sin presentar diferencias estadísticas entre ellas ($F_{4,34}=0.777$, $p>0.05$) (Tabla II). Los valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 8), fueron menores en el grupo de las fanerógamas marinas, seguidas por las algas rojas y verdes y por último las algas cafés, las cuales presentaron los valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$ de todas las presas potenciales. En el caso de los invertebrados, sus valores mostraron un ligero incremento respecto a algunos productores (de 0.32‰ a 1.5‰) y menores al compararlos con las algas cafés (en los cnidarios y esponjas, con una diferencia de más de 1‰) y con las algas verdes (las esponjas con 0.31‰ de diferencia).

Los isótopos de carbono si mostraron diferencias significativas entre algunos de los grupos ($F_{4,34}=9.113$, $p<0.0001$) (Tabla II). En este caso, las algas cafés y las fanerógamas marinas formaron un grupo homogéneo, mostrando diferencias significativas con el resto de los grupos; mientras que las algas verdes, rojas y los invertebrados no pudieron distinguirse significativamente entre ellos (prueba HSD de Tukey) (Tabla II). El grupo formado por las algas cafés y las fanerógamas marinas presentaron los valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos (enriquecidos en C^{13}) (Fig. 7 y 8), seguidos por las algas verdes y después por las algas rojas y los invertebrados. Posteriormente esta distinción entre presas será utilizada para discriminar entre las distintas presas potenciales de la tortuga verde.

Al comparar entre especies, no fue posible detectar diferencias significativas en la composición isotópica de nitrógeno ($F_{17,21}=1.1766$, $p=0.357$), aunque entre algunas especies si se encontraron diferencias en la composición de isótopos de carbono ($F_{17,21}=3.4618$, $p=0.004$). En este caso, con *C. tuberculata* contra *G. textorii*, *G. andersonii* y las esponjas; y entre las esponjas contra *Z. marina* y *C. tuberculata* (prueba HSD de Tukey) (Tabla III).

El análisis temporal de la proporción de isótopos en los grupos de presas potenciales (Fig. 9) tampoco mostró diferencias significativas (Tabla IV). Es importante señalar que no todas las especies ni todos los grupos se obtuvieron durante todas las temporadas de muestreo, por lo que este análisis solo se aplicó a las macroalgas y a la especie *Zostera marina* (ZOST).

Tabla I. Presas potenciales de *Chelonia mydas*: grupo taxonómico, nombres específicos y número de muestras que se analizaron por taxón (n).

Grupo taxonómico	Especie	n	
Chlorophyta	<i>Caulerpa sertularoides</i> ^a	2	
	<i>Cladophora microcladioides</i>	1	
	<i>Codium amplivesiculatum</i>	4	
	<i>Codium cuneatum</i>	1	
	<i>Ulva lactuca</i>	2	
Phaeophyta	<i>Colpomenia tuberculata</i>	2	
	<i>Sargassum sinicola</i>	1	
	<i>Padina caulescens</i>	1	
Rhodophyta	<i>Gracilaria pacifica</i>	2	
	<i>Laurencia pacifica</i>	1	
	<i>Gracilariopsis andersonii</i>	2	
	<i>Hypnea johnstonii</i>	1	
	<i>Sarcodiotheca gaudichaudii</i>	2	
	<i>Gracilaria textorii</i>	3	
Fanerógamas marinas	<i>Zostera marina</i>	5	
	Especie no identificada	1	
Invertebrados			
	Porifera	Esponjas no identificadas	5
	Cnidaria	Hidrozoario no identificado	1
Gorgónido no identificado		1	

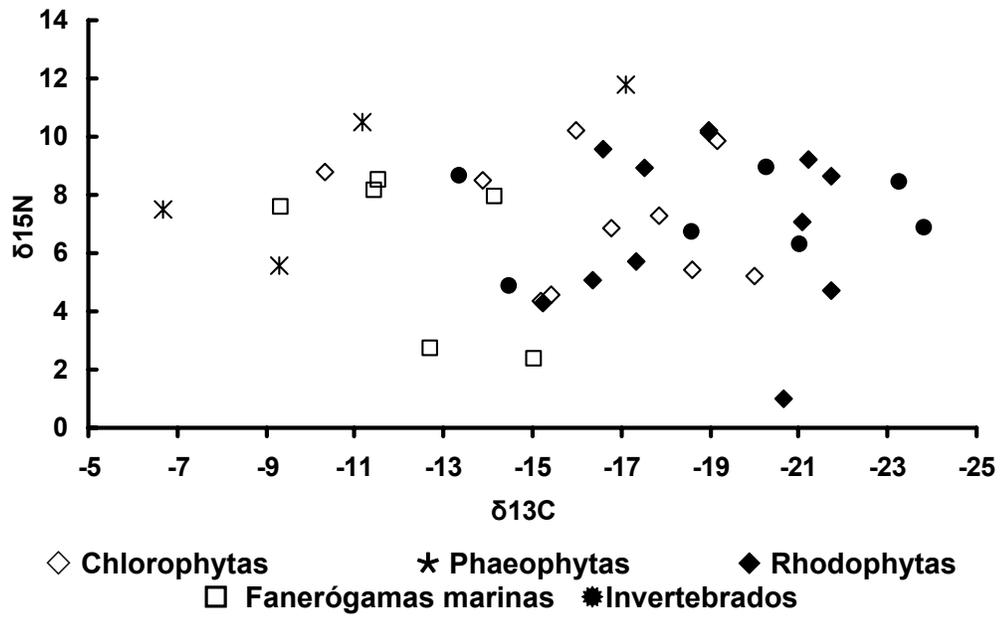


Figura 7. Señales isotópicas ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) en las presas potenciales de *C. mydas*.

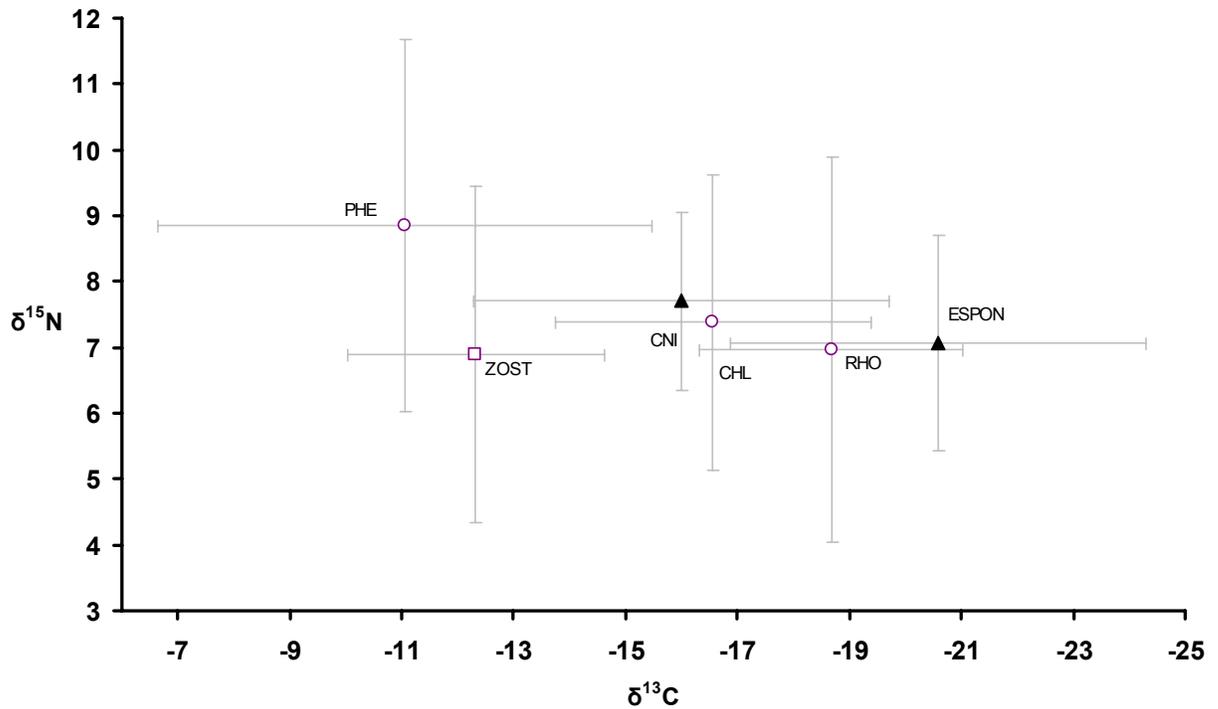


Figura 8.- $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en presas potenciales de CM (promedio \pm DE): Chlorophyta (CHL), Rhodophyta (RHO), Phaeophyta (PHE), fanerógamas marinas (ZOST), Cnidaria (CNI), Porifera (ESPON).

Tabla II.- Resumen de los valores isotópicos ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) encontrados en las presas potenciales de *C. mydas*.

Grupo	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	DE(\pm)	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	DE(\pm)	n
Chlorophytas	7.38	2.25	-16.56 ^a	2.82	11
Phaeophytas	8.85	2.83	-11.05 ^b	4.42	4
Rhodophytas	6.77	2.86	-18.95 ^a	2.42	11
Fanerógamas marinas	6.20	2.84	-12.38 ^b	2.06	6
Porifera	7,07	1,64	-20,58 ^a	3,72	5
Cnidaria	7,70	1,35	-15,99 ^a	3,71	2

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$)

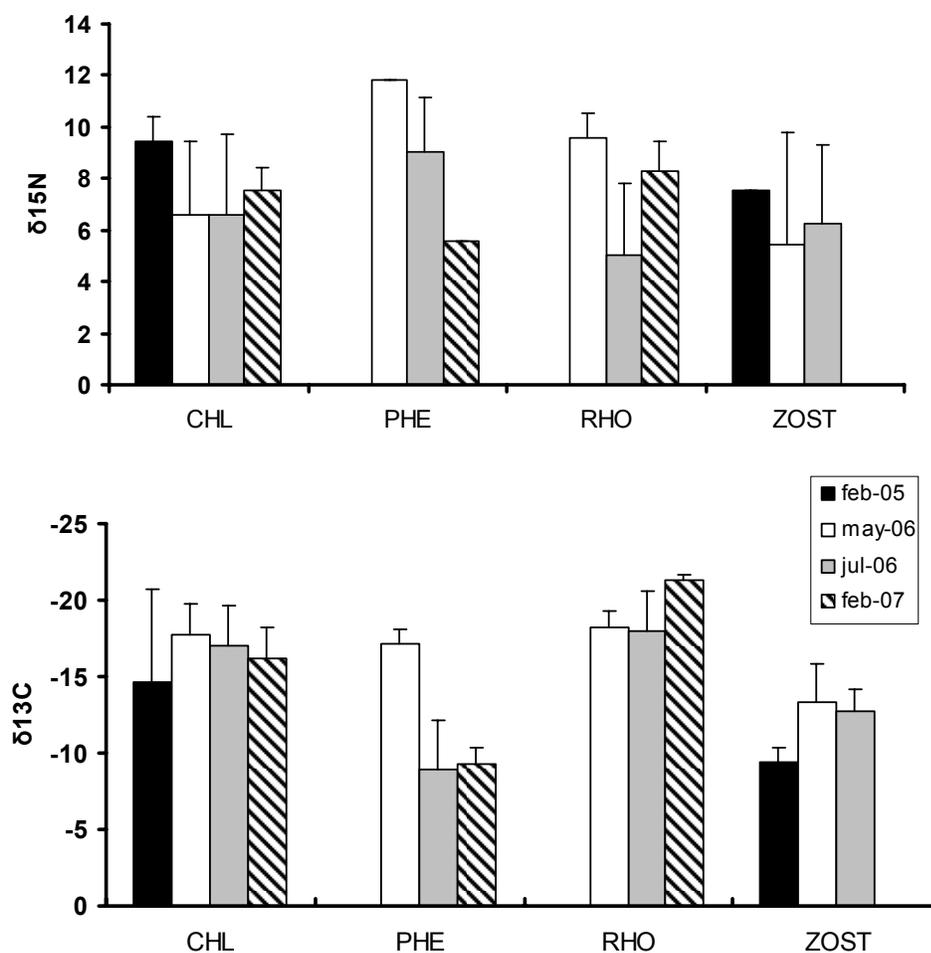


Figura 9. Variación temporal de las señales isotópicas ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) en las presas potenciales de *C. mydas* (prom. \pm D.E.): Chlorophyta (CHL), Phaeophyta (PHE), Rhodophyta (RHO) y *Zostera marina* (ZOST).

Tabla III. Resumen valores isotópicos de C y N ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) en las presas potenciales de *C. mydas* (ver texto. Pagina 35).

Especies	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	DE(\pm)	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	DE(\pm)	N
<i>Cladophora microcladioides</i>	7,27	-	-17,85	-	1
<i>Codium amplivesiculatum</i>	6,94	2,54	-15,34	3,18	5
<i>Codium cuneatum</i>	8,78	-	-10,32	-	1
<i>Caulerpa sertularioides</i>	5,33	0,17	-19,30	1,01	2
<i>Ulva lactuca</i>	9,52	0,90	-16,34	2,64	3
<i>Sarcodiotheca gaudichaudii</i>	6,75	3,51	-18,24	4,22	2
<i>Gracilariopsis andersonii</i>	7,19	2,04	-19,54	3,09	2
<i>Gracilaria pacifica</i>	9,89	0,48	-17,78	1,68	2
<i>Gracilaria textorii</i>	5,66	4,16	-19,76	1,93	3
<i>Laurencia pacifica</i>	5,06	-	-16,34	-	1
<i>Colpomenia tuberculata</i>	6,54	1,39	-7,98	1,86	2
<i>Sargassum horridum</i>	11,80	-	-17,09	-	1
<i>Padina caulescens</i>	10,51	-	-11,17	-	2
<i>Zostera marina</i>	6,90	2,55	-12,31	2,30	5
<i>Esponjas</i>	7,07	1,64	-20,58	3,72	5
Hidrozoarios	6,75	-	-18,61	-	1
Gorgónidos	8,65	-	-13,37	-	1

Tabla IV.- ANOVA de la proporción isotópica ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) de los grupos de presas potenciales de *C. mydas*, comparando los diferentes meses de muestreo.

Presas	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Feb 05	May 06	Jul 06	Feb 07
Chlorophyta	F=0,748 p=0.55	F=0.433, p=0.73	n =2	n =3	n =3	n =3
Rhodophyta	F=3.934, p=0.064	F=2.7, p=0.12	n=0	n =2	n =6	n =3
Phaeophyta	F=2.18, p=0.43	F=2.40, p=0.415	n=0	n =1	n =2	n =1
<i>Zostera marina</i>	F=0.117, p=0.89	F=1.71, p=0.318	n=0	n =1	n =2	n =3

3.3 PATRONES DE VARIACIÓN ISOTÓPICA Y RECONSTRUCCIÓN DE LA DIETA

3.3.1 Variación isotópica entre tejidos

Durante el periodo de estudio (septiembre de 2005 - febrero de 2007), fueron capturadas un total de 29 tortugas en el área de Bahía Magdalena. De los organismos capturados, únicamente se obtuvieron 16 muestras de plasma sanguíneo (por la dificultad que puede representar durante la obtención de este tejido) y en el caso de la piel, se colectaron muestras de todos los organismos.

Se observó que el rango de valores encontrado para $\delta^{15}\text{N}$ en el plasma sanguíneo, fue menor (8.69‰ a 14.35 ‰) que el encontrado para la piel (4.48‰ a 17.08‰); sin embargo, no fue posible encontrar diferencias estadísticas significativas (N: $F_{1,43}=0.107$, $p>0.05$) entre los tejidos. (Fig. 10 y Tabla V). Por el contrario, la proporción de isótopos de carbono si presentó diferencias significativas entre los tejidos ($F_{1,43}=6.588$, $p=0.01$), con valores más negativos (y por lo tanto reducidos en ^{13}C) en plasma sanguíneo (rangos: -20.36‰ a -16.85 ‰) que en piel (rangos: -21,42‰ a -8,07 ‰).

Al corregir los valores isotópicos promedio de cada tejido considerando diferentes factores de discriminación (Tabla VI), se observó que las correcciones hechas con el factor de discriminación estimado para la tortuga vede (SEFF06), es muy cercano a la corrección proporcionada por el factor de discriminación teórico de 3‰ en el caso de $\delta^{15}\text{N}$ y para $\delta^{13}\text{C}$ el valor es muy cercano al factor teórico de 0‰.

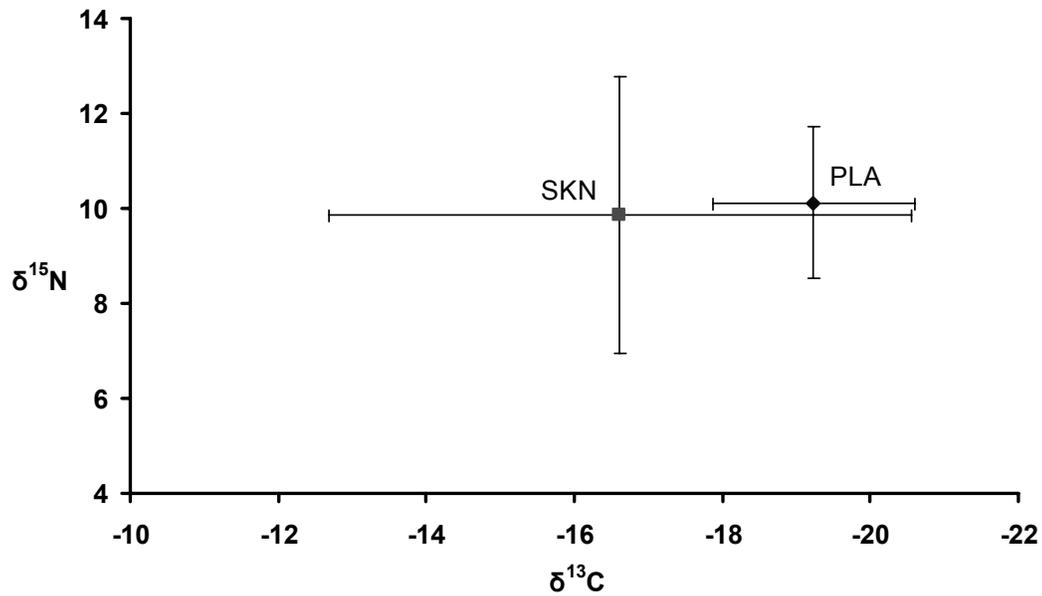


Figura 10. Señales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ totales en los tejidos de *C. mydas* (promedio \pm DE): plasma sanguíneo (PLA, n=16) y piel (SKN, n=29).

Tabla V. Resumen de los valores isotópicos ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) encontrados en tejidos de *C. mydas*. ANOVA, N: $F_{1,43}=0.107$, $p>0.05$; C: $F_{1,43}=6,588$, $p=0,01$.

Tejido	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	DE (\pm)	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	DE (\pm)	N
Plasma sanguíneo	10,11	1,60	-19,24 ^a	1,37	16
Piel	9,86	2,91	-16,62 ^b	3,93	29

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$)

Tabla VI. Valores isotópicos promedio ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) corregidos con el factor de discriminación isotópico reportado para tortuga verde (SEFF 06) y con el factor de discriminación teórico en plasma y piel de CM.

Isótopo y tejido	Promedio (\pm DE)	SEFF 06 (\pm DE)	Factor teórico
$\delta^{15}\text{N}$ PLA	10,11 \pm 1,6	7,19 \pm 1,6	7,11 a 5,11
$\delta^{15}\text{N}$ SKN	9,86 \pm 2,91	6,89 \pm 2,81	6,86 a 4,86
$\delta^{13}\text{C}$ PLA	-19,24 \pm 1,37	-19,12 \pm 1,37	-19,24 a -20,24
$\delta^{13}\text{C}$ SKN	-16,62 \pm 3,93	-16,67 \pm 3,95	-16,62 a -17,62

Al comparar visualmente las señales isotópicas de los tejidos con los valores encontrados en las presas potenciales (Fig. 11), se observó que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en la tortuga verde están enriquecidos en N^{15} (en aproximadamente en 3‰) en comparación de las presas potenciales.

Si se considera la premisa de que la $\delta^{13}\text{C}$ varía poco entre un depredador y su presa (de 0 a 1‰), puede observarse que las señales de la tortuga verde se encuentran más relacionadas con los invertebrados, algas verdes y algas rojas que con las fanerógamas marinas y algas cafés, las cuales presentan valores más positivos que el resto de los grupos (Fig. 11).

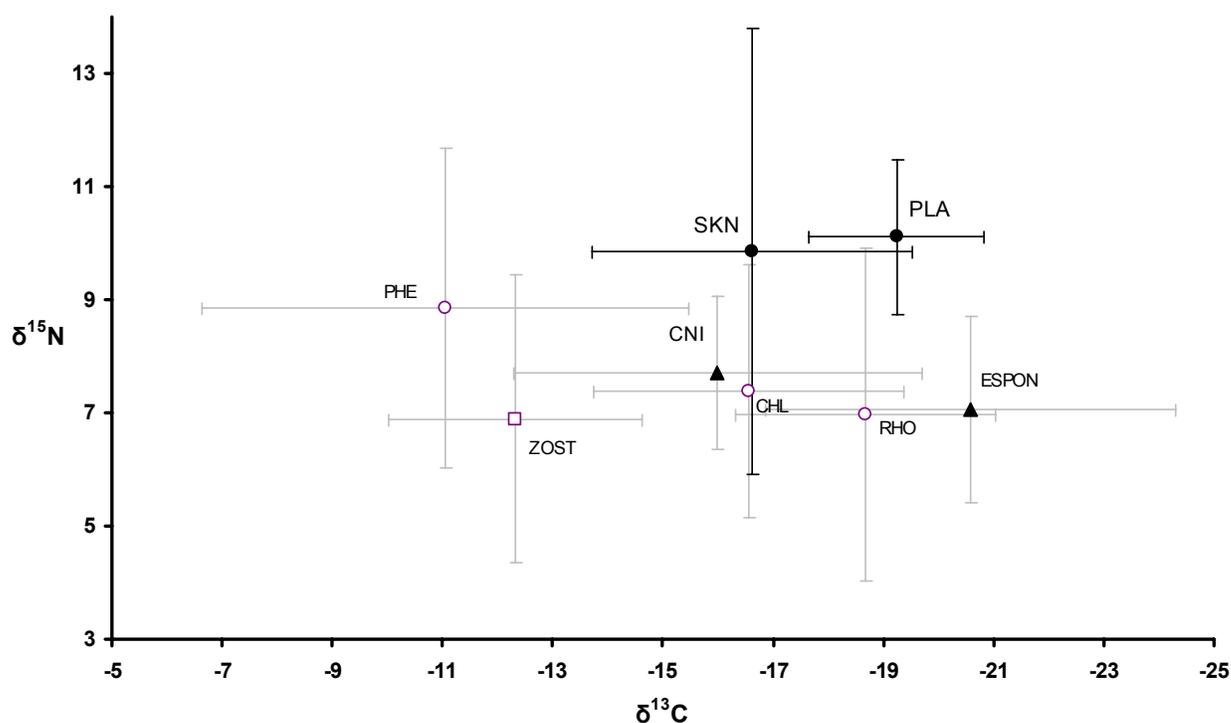


Figura 11.- $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en presas potenciales y tejidos de CM (promedio \pm DE): Chlorophyta (CHL), Rhodophyta (RHO), Phaeophyta (PHE), fanerógamas marinas (ZOST), Cnidaria (CNI), Porifera (ESPON), Plasma sanguíneo (PLA) y piel (SKN).

Al utilizar los valores isotópicos corregidos de plasma sanguíneo y piel con el factor de discriminación SEFF06 (Fig.12) y compararlos visualmente con los valores isotópicos encontrados en presas potenciales, se observó que las señales corregidas coinciden con los valores encontrados en los invertebrados, algas rojas y algas verdes. Los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ en los tejidos de tortuga verde presentaron diferencias significativas, en este caso el promedio observado en piel estuvo más relacionado con las algas verdes y los cnidarios, mientras que las señales del plasma sanguíneo se asemejaron más a las señales de las esponjas y las algas rojas. En cambio, los valores de las algas café y las fanerógamas marinas no coincidieron con los promedios encontrados en tejidos de tortuga verde; además, de que estos grupos presentaron diferencias significativas con el resto de las presas potenciales en $\delta^{13}\text{C}$ (Fig.12).

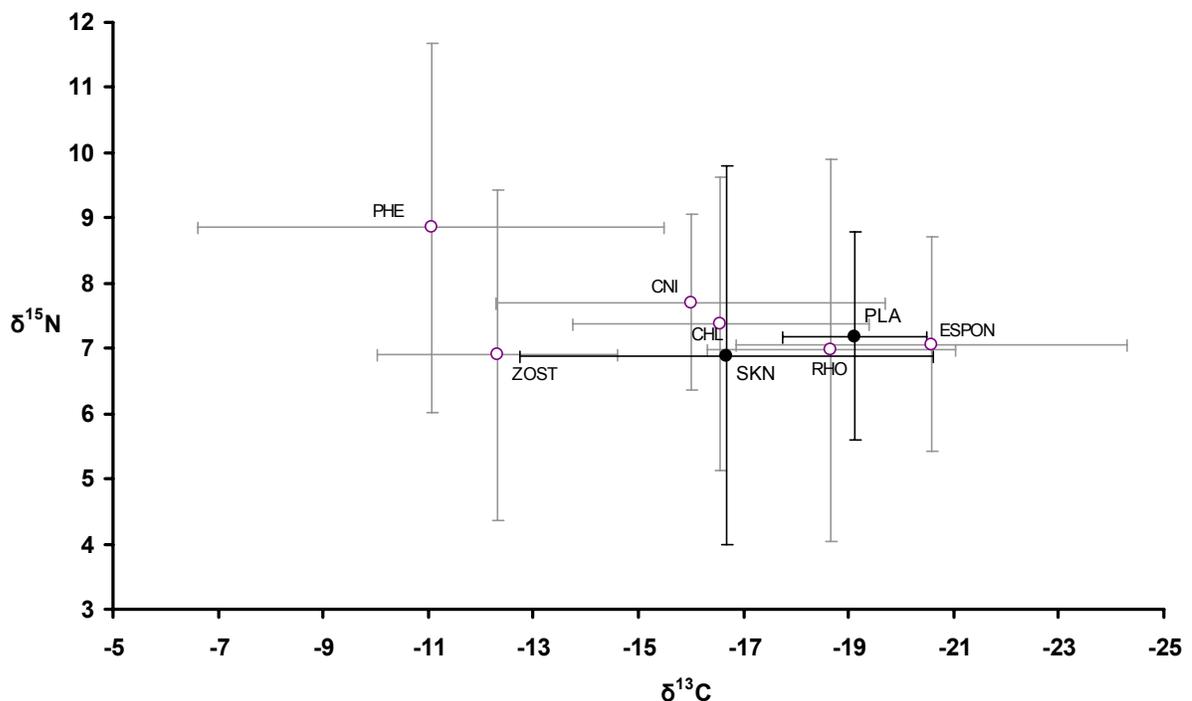


Figura 12.- Reconstrucción de la dieta de CM utilizando la $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en presas potenciales y tejidos de CM corregidos por el factor de discriminación SEFF06, (Prom \pm DE): Chlorophyta (CHL), Rhodophyta (RHO), Phaeophyta (PHE), fanerógamas marinas (ZOST), Cnidarios (CNI), Porifera (ESPON), Plasma sanguíneo (PLA) y piel (SKN).

En el análisis de similitud se observó que de acuerdo a la $\delta^{15}\text{N}$ se forman tres grupos de organismos a una distancia de ligado del 80%: el de los invertebrados, otro con los tejidos de *C. mydas* y otro con las macroalgas y fanerógamas (Fig13a); lo que establecería por lo menos tres grupos tróficos representando a productores y consumidores. Con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se formaron dos grupos (a una distancia de ligado del 80%) (Fig13b): el primero, incluyen a los tejidos de tortuga, invertebrados y macroalgas (rojas y verdes); y el segundo, a las fanerógamas y las algas cafés.

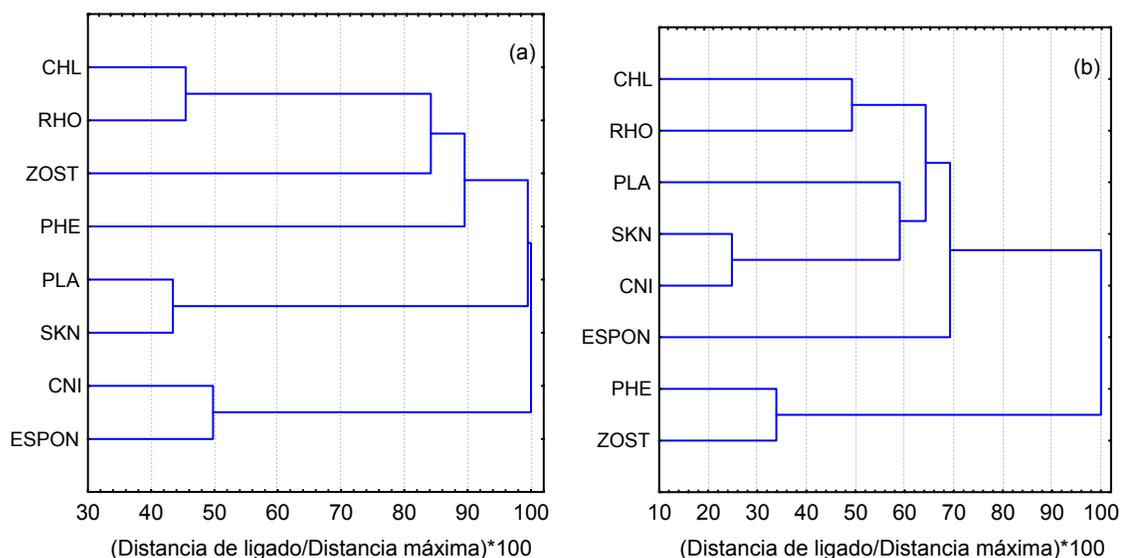


Figura 13. Análisis de similitud de los valores isotópicos promedio: a) $\delta^{15}\text{N}$ y b) $\delta^{13}\text{C}$. Tejidos de *C. mydas* (Plasma sanguíneo: PLA y Piel: SKN) y sus presas potenciales: algas verdes (CHL), algas rojas (RHO), algas cafés (PHE), cnidarios (CNI), esponjas (ESPON) y *Zostera marina* (ZOST).

3.3.2 Variación isotópica estacional

Al comparar estacionalmente las señales isotópicas de los tejidos de *C. mydas* (Fig. 14), se encontró que en plasma sanguíneo, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fluctuaron ligeramente sin encontrarse diferencias significativas entre las temporadas ($F_{4,10}= 0.199$ $p>0.05$; rango: 8.46‰ a 14.35‰). En el caso de los isótopos estables de carbono, si se presentaron diferencias significativas entre las estaciones ($F_{4,10}= 4.505$ $p< 0.05$; rango: –16.99‰ a –20.02‰) (Tabla VII). Los valores promedio más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ se presentaron durante otoño 2005, verano 2006 e invierno 2007, con valores intermedios en primavera 2006 y más positivos durante invierno del 2006.

En el caso de la piel, no se encontraron diferencias significativas para ninguna de las proporciones isotópicas analizadas (N: $F_{4,24}= 0.051$ $p> 0.05$; rango: 4.48 a 17.08 ‰ y C: $F_{4,24}=0.633$ $p> 0.05$; rango: –8.73 a –21.42 ‰) (Figura 15, Tabla VIII).

Tabla VII. Resumen de la variación estacional de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en plasma sanguíneo (PLA) de *C. mydas*. ANOVA, N: $F_{4,10}= 0.199$, $p>0.05$; C: $F_{4,10}= 4.505$, $p< 0.05$.

Estación	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	DE (\pm)	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	DE (\pm)	N
Otoño 05	9.88	1.55	–19.68 ^a	0.06	2
Invierno 06	11.09	1.37	–16.93 ^b	0.11	2
Primavera 06	10.34	2.32	–18.87 ^{ab}	1.20	5
Verano 06	9.87	0.93	–19.79 ^a	0.81	2
Invierno 07	9.79	1.63	–19.64 ^a	0.39	4

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$)

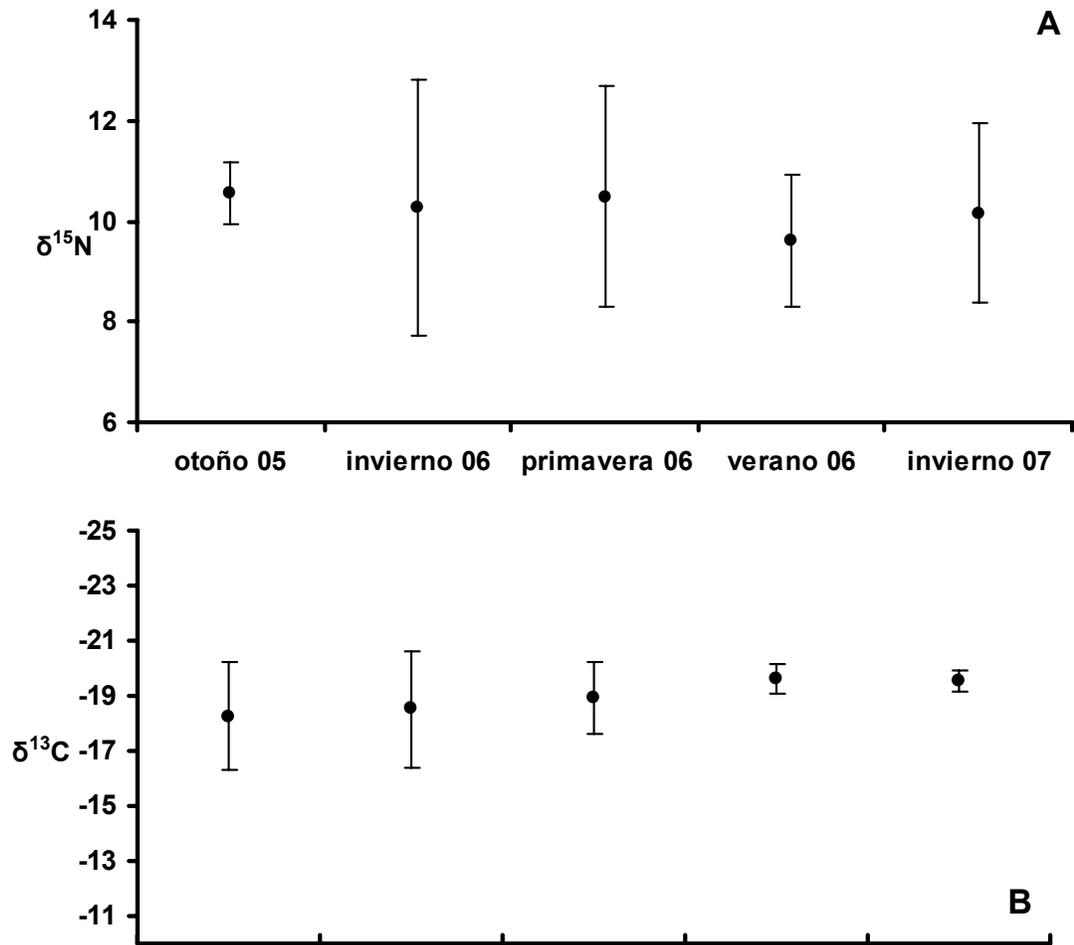


Figura 14. Diferencias estacionales en las señales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en plasma sanguíneo de *C. mydas* (Promedio \pm DE).

Tabla VIII. Resumen de la variación estacional de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en piel de *C. mydas*. ANOVA, N: $F_{4,24} = 0.051$ $p > 0.05$; C: $F_{4,24} = 0.633$ $p > 0.05$.

Estación	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	DE (\pm)	promedio $\delta^{13}\text{C}$	DE (\pm)	N
Otoño	9.56	2.17	-17.30	4.14	7
Invierno	10.25	4.51	-14.53	5.22	5
Primavera	10.03	2.64	-17.51	4.10	9
Verano	9.75	4.97	-17.66	3.15	3
Invierno	9.63	2.27	-15.53	2.52	5

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$)

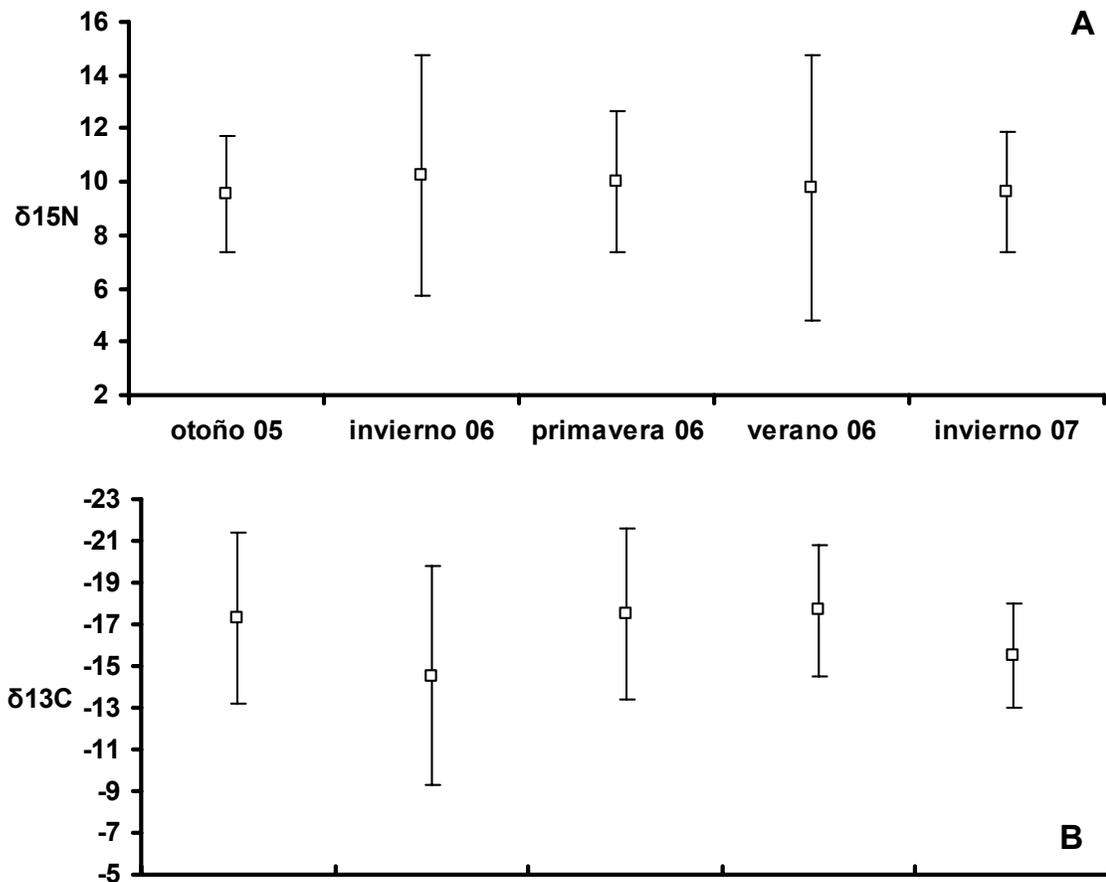


Figura 15. Diferencias estacionales en las señales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en piel de *C. mydas* (Promedio \pm DE).

Únicamente en las muestras de plasma sanguíneo se encontraron diferencias significativas y por lo tanto solo estos valores se compararon con las presas potenciales, corrigiendo con el factor de discriminación isotópica (SEFF06) para detectar posibles diferencias estacionales de los componentes de la dieta (Fig. 16). Los resultados muestran que al parecer, durante el otoño 2005, verano 2006 e invierno 2007, las tortugas se alimentaron principalmente de cnidarios y algas rojas; mientras que durante la primavera del 2006 lo hicieron principalmente de algas rojas y durante el invierno del 2006 de algas verdes. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas

entre estos grupos de presas, por lo que no es posible asegurar cuales realmente están siendo consumidos durante cada temporada.

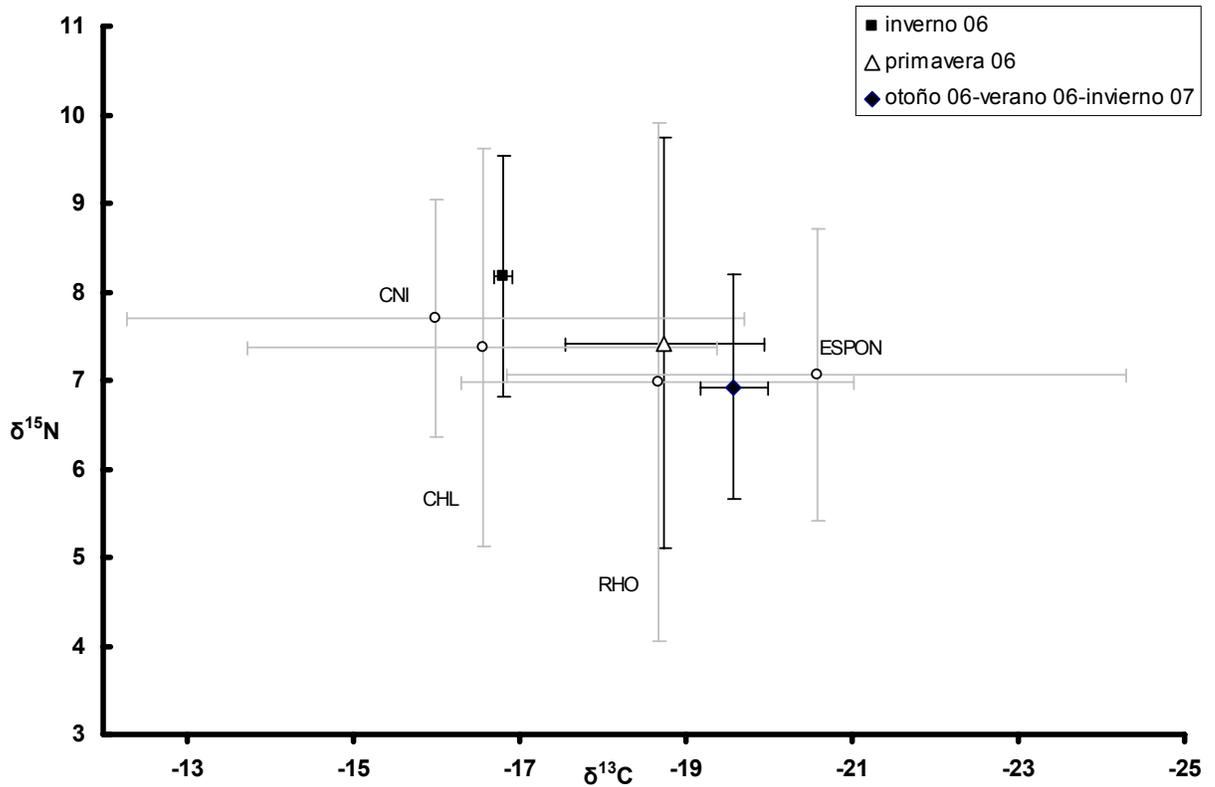


Figura 16.- Reconstrucción de la dieta de CM considerando diferentes temporadas de muestreo. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en presas potenciales (promedio \pm DE): Chlorophyta (CHL), Rhodophyta (RHO), Phaeophyta (PHE), fanerógamas marinas (ZOST), Cnidarios (CNI), Porifera (ESPON) y tejidos de CM corregidos por el factor de discriminación SEFF06.

3.3.3 Variación isotópica por tallas

Entre las tortugas capturadas dentro de Bahía Magdalena, se observó que el largo recto del caparazón (LRC) fue de 60.93cm en promedio (D.E = 9.65; rango= 44.5 – 81.4cm; N= 29). Considerando el tamaño promedio de las hembras que anidan en Michoacán (LRC = 77.3cm; Figueroa *et al.*, 1993), solamente 2 de los individuos

capturados (6.89%) fueron adultos. La mayor parte de los individuos, presentaron tallas entre 60-69.9cm seguidos por aquellos entre 50-59.9cm (LRC) (Fig. 17).

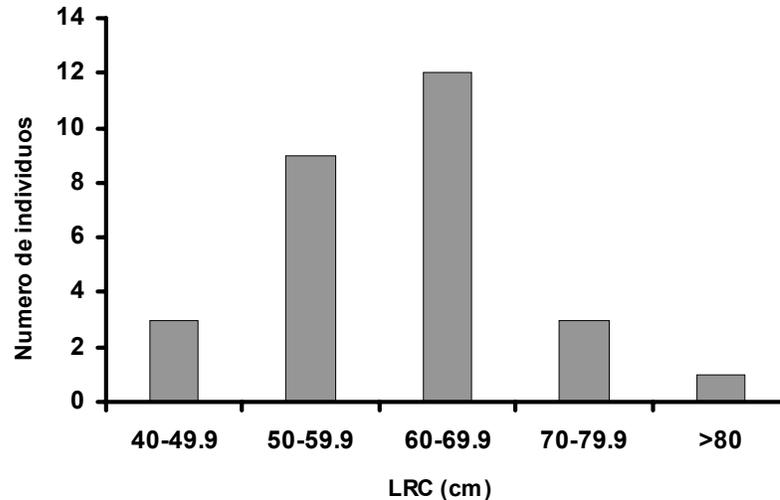


Figura 17.- Distribución de tallas de las tortugas capturadas en Bahía Magdalena.

Al comparar las señales isotópicas en plasma sanguíneo entre los distintos grupos de tallas (Fig.18), se encontraron diferencias significativas en la $\delta^{15}\text{N}$ ($F_{3,12}=4.768$, $p<0.05$) pero no entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ ($F_{3,12}=1.198$, $p>0.05$) (Tabla IX). El valor más alto en la proporción isotópica del N se observó en la clase de talla 70-79.9 cm. del LRC ($n=1$), encontrando valores intermedios en la clase de talla 40-49.9cm LRC ($n=1$); mientras que los valores más bajos se observaron en las clases de talla dominantes (50 a 69.9cm del LRC, $n=7$ en ambas clases). Por el contrario, las señales isotópicas en piel (Fig. 19) no presentaron diferencias significativas entre ninguno de los grupos de tallas (N: $F_{4,23}=0.786$, $p>0.05$, C: $F_{4,23}=0.535$, $p>0.05$) (Tabla X).

En los análisis de correlación no observó una relación significativa entre las señales de $\delta^{15}\text{N}$ o $\delta^{13}\text{C}$ con la talla de los organismos ni en el plasma sanguíneo (N: $r = 0.233$, $p = 0.384$; C: $r = 0.168$, $p = 0.532$) ni en la piel (N: $r = -0.29$, $p=0.132$; C: $r = -0.019$; $p = 0.66$).

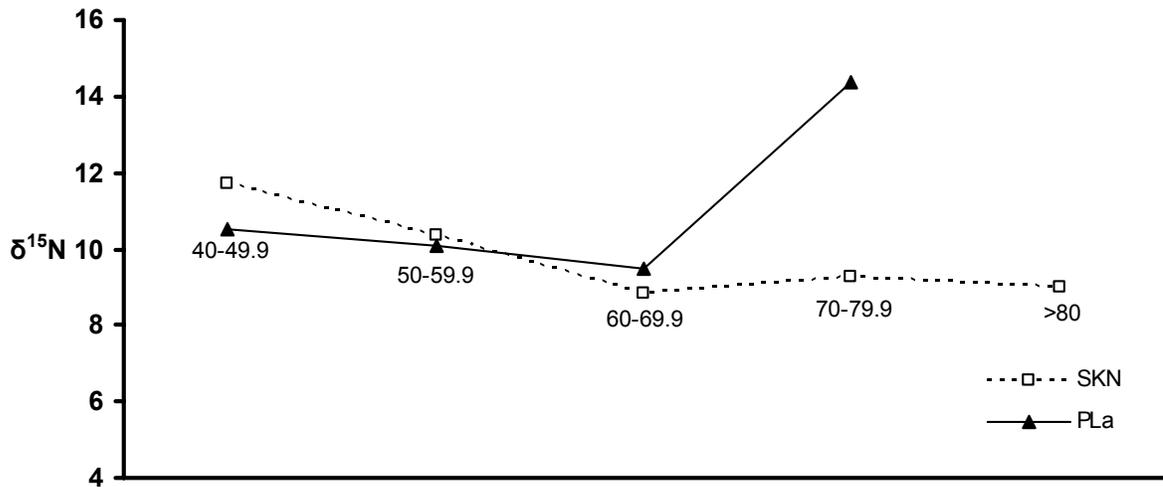


Figura 18.- $\delta^{15}\text{N}$ promedio en plasma y piel (PLA Y SKN) de los diferentes grupos de tallas de *C. mydas*.

Tabla IX. Resumen de los valores isotópicos encontrados en plasma (PLA) de *C. mydas*. ANOVA, N: $F_{3,12}=4.768$, $p<0.05$; C: $F_{3,12}=1.198$, $p>0.05$.

Tallas	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	DE (\pm)	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	DE (\pm)	n
40-49.9	10,53 ^{ab}	-	-19,21	-	1
50-59.9	10,06 ^b	1,50	-19,12	1,06	7
60-69.9	9,51 ^b	0,80	-19,68	1,57	7
70-79.9	14,36 ^a	-	-16,99	-	1

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

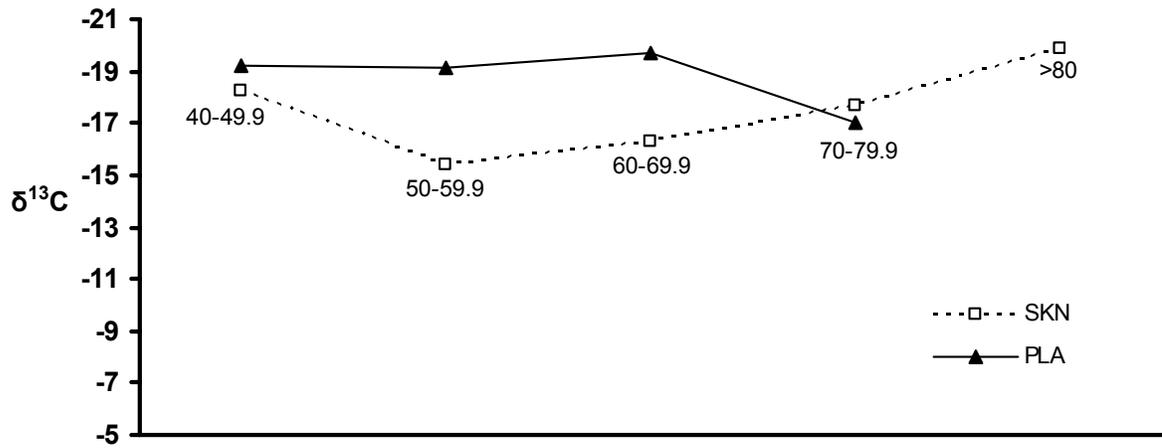


Figura 19.- $\delta^{13}\text{C}$ promedio en plasma y piel (PLA Y SKN) de los diferentes grupos de tallas de *C.mydas*.

Tabla X. Resumen de los valores isotópicos encontrados en piel (SKN) de *C.mydas*. ANOVA, N: $F_{4,23}=0.786$, $p>0.05$, C: $F_{4,23}=0.535$, $p>0.05$.

Tallas	Promedio $\delta^{15}\text{N}$	DE (\pm)	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	DE(\pm)	N
40-49.9	11,71	6,50	-18,25	2,19	3
50-59.9	10,35	2,00	-15,41	3,12	9
60-69.9	8,84	2,51	-16,30	5,06	12
70-79.9	9,27	1,03	-17,68	2,79	3
>80	8,99	-	-19,86	-	1

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$)

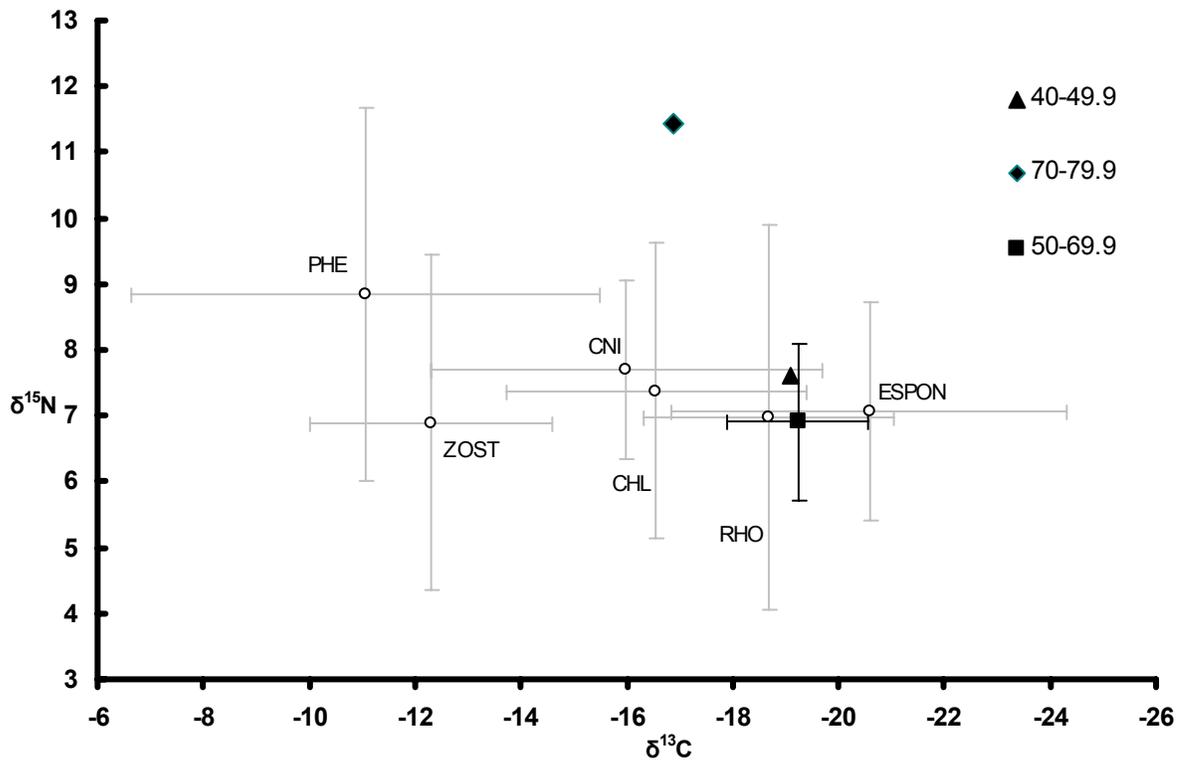


Figura 20.- Reconstrucción de la dieta de CM considerando diferentes clases de talla. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (Prom \pm DE): Chlorophyta (CHL), Rhodophyta (RHO), Phaeophyta (PHE), fanerógamas marinas (ZOST), Cnidarios (CNI), Porifera (ESPON), y tejidos de CM corregidos por el factor de discriminación SEFF06.

Ya que únicamente se encontraron diferencias significativas en las muestras de plasma sanguíneo, estas fueron corregidas (SEFF06) y comparadas de manera visual, con los valores isotópicos de las presas potenciales (Fig. 20), con el fin de detectar los componentes de la dieta en las tallas con diferencias estadísticas. Se observó que el valor isotópico de la clase de talla mayor (LRC: 70-79.9cm) se encuentra muy por encima de las presas potenciales analizadas; mientras que las otras clases de talla coinciden con las presas que fueron identificadas en los análisis anteriores.

3.3.4 Señales isotópicas de la Tortuga Verde en la costa occidental de la Península de Baja California.

Al comparar las señales isotópicas de las tortugas capturadas en Bahía Magdalena con las de Laguna San Ignacio y Punta Abrejos (Fig. 21), se observó que en Laguna San Ignacio, se presentaron los valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ (aproximadamente 3‰ de diferencia) y los valores menos negativos en $\delta^{13}\text{C}$ (enriquecidos en C^{13}). En ambos casos se presentaron diferencias significativas entre esta localidad y el resto ($\delta^{15}\text{N}$: $F_{(2, 32)}=12.810$, $p<0.001$ y $\delta^{13}\text{C}$: $F_{(2, 32)}=30.119$, $p<0,001$) (Tabla XI). En las muestras de piel, no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los sitios ($\delta^{15}\text{N}$: $F_{(2, 49)}=3.1827$, $p>0.05$ y $\delta^{13}\text{C}$: $F_{(2, 49)}=0.79467$, $p>0.05$) (Fig. 22 y Tabla XII).

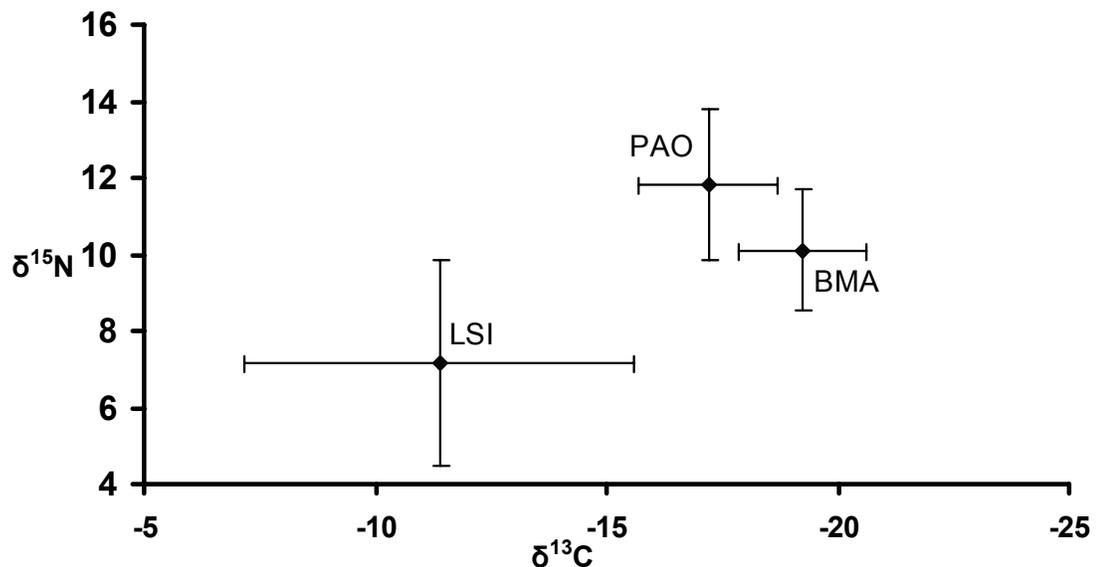


Figura 21. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en plasma (PLA) de tortugas capturadas en la costa Occidental de la Península de BCS (Promedio \pm DE): Bahía Magdalena (BMA), Laguna San Ignacio (LSI) y Punta abrejos (PAO).

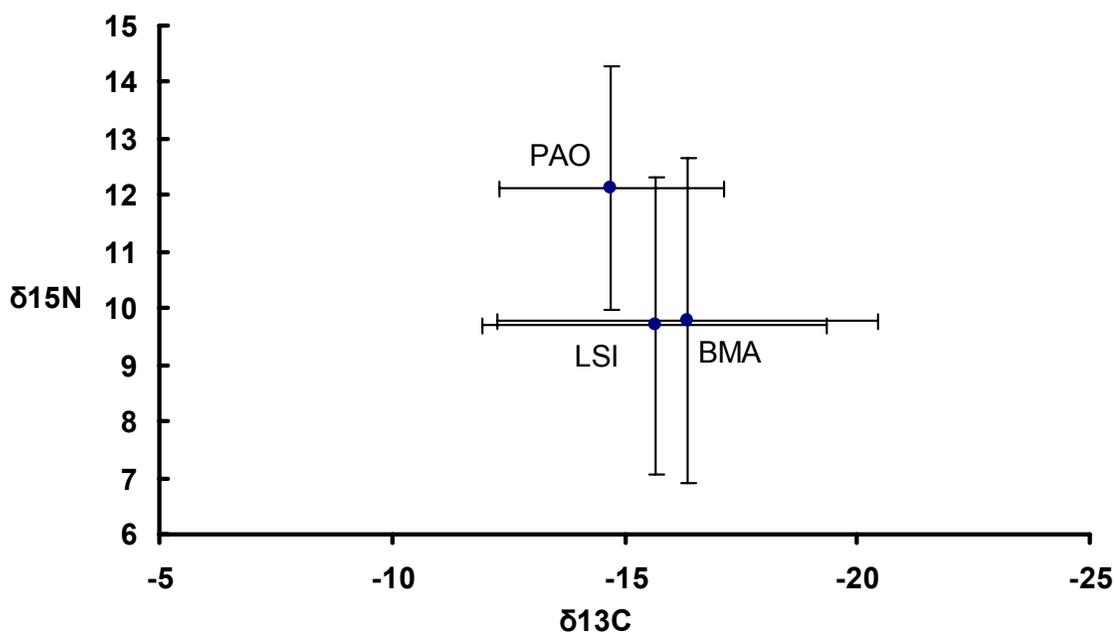


Figura 22. $\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$ encontradas en piel (SKN) de tortugas capturadas en la costa Occidental de la Península de BCS: Bahía Magdalena (BMA), Laguna San Ignacio (LSI) y Punta abreojos (PAO).

Tabla XI.- Resumen de los valores isotópicos de C y N encontrados en plasma sanguíneo (PLA) en las diferentes localidades de muestreo.

Localidad	Promedio N	DE(±)	Promedio C	DE(±)	N
BMA	10,11a	1,60	-19,24a	1,37	16
LSI	7,16b	2,69	-11,39b	4,20	10
PAO	11,82a	1,96	-17,19a	1,48	9

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$)

Tabla XII.- Resumen de los valores isotópicos de C y N encontrados en piel (SKN) en las diferentes localidades de muestreo.

Localidad	promedio N	DE(±)	promedio C	DE(±)	N
BMA	9,79	2,88	-16,37	4,09	29
LSI	9,69	2,63	-15,65	3,69	12
PAO	12,13	2,15	-14,72	2,40	11

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$)

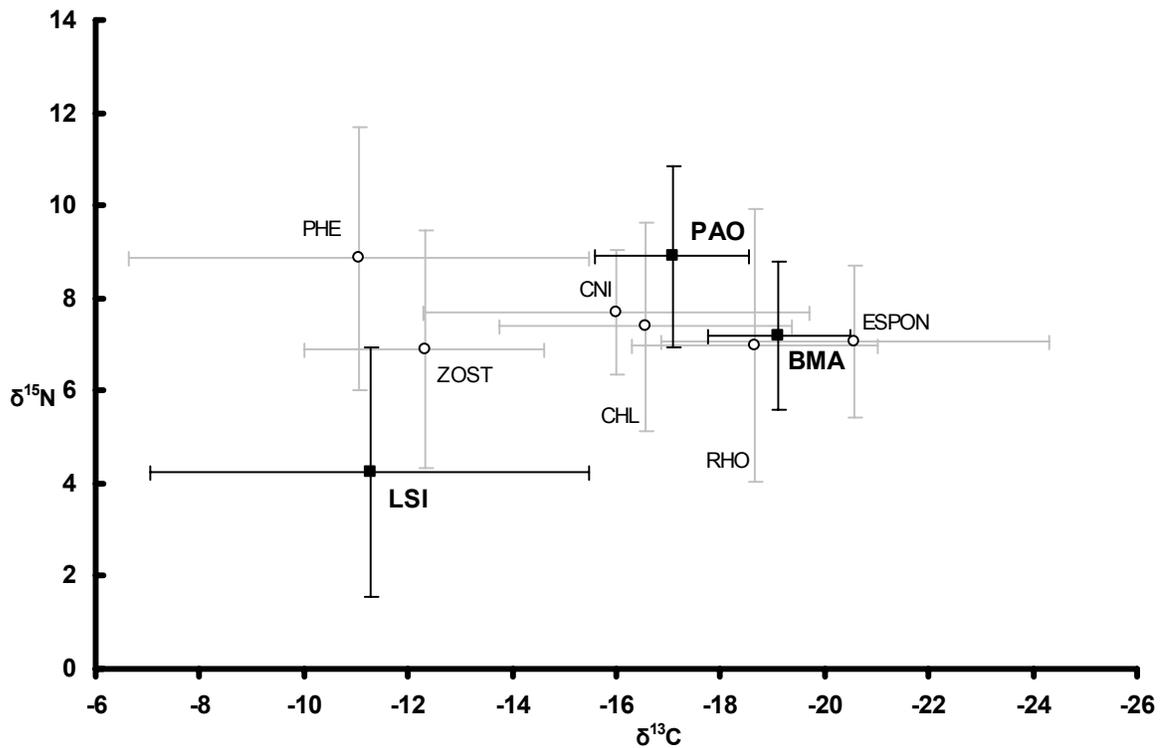


Figura 23.- Reconstrucción de la dieta de *C. mydas* comparando a Bahía Magdalena con otros sitios de alimentación. $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (Prom \pm DE): Chlorophyta (CHL), Rhodophyta (RHO), Phaeophyta (PHE), fanerógamas marinas (ZOST), Cnidarios (CNI), Porifera (ESPON), Bahía Magdalena (BM), Laguna San Ignacio (LSI) y Punta abrejos (PAO).

Como únicamente se encontraron diferencias significativas en las muestras de plasma sanguíneo, estas fueron corregidas (SEFF06) y comparadas de manera visual, con los valores isotópicos de las presas potenciales analizadas para Bahía Magdalena (Fig. 22), encontrando que tanto en Bahía Magdalena como en Punta Abrejos, la señal isotópica coincide con la de las algas marinas e invertebrados; mientras que la señal de Laguna San Ignacio, se asemeja más a los valores encontrados para las fanerógamas marinas.

El largo recto del caparazón (LRC) promedio de las tortugas capturadas en Bahía Magdalena, fue de 60.93cm (D.E = 9.65; rango= 44.5cm – 81.4cm; N= 29); mientras que para Laguna San Ignacio fue de 52.03cm (D.E = 8.81; rango 38.3cm -67cm; N=12) y de

67.82cm (D.E=15.08; rango 47-97; N=11) en Punta Abrejos (Fig. 23). Considerando el tamaño promedio de las hembras que anidan en Michoacán (LRC = 77.3cm; Figueroa *et al.*, 1993), ninguno de los organismos capturados en Laguna San Ignacio fue adulto y solamente 2 de los individuos capturados en Punta abrejos (18%) fueron adultos. Las clases de talla dominantes fueron la de 40cm-49.9cm en Laguna San Ignacio y las de 50cm-59.9cm y 70cm-79.9cm en Punta Abrejos. El análisis de variancia no mostró diferencias significativas en las tallas entre las diferentes localidades ($F_{(2, 32)}=3.184$ $p>0.05$).

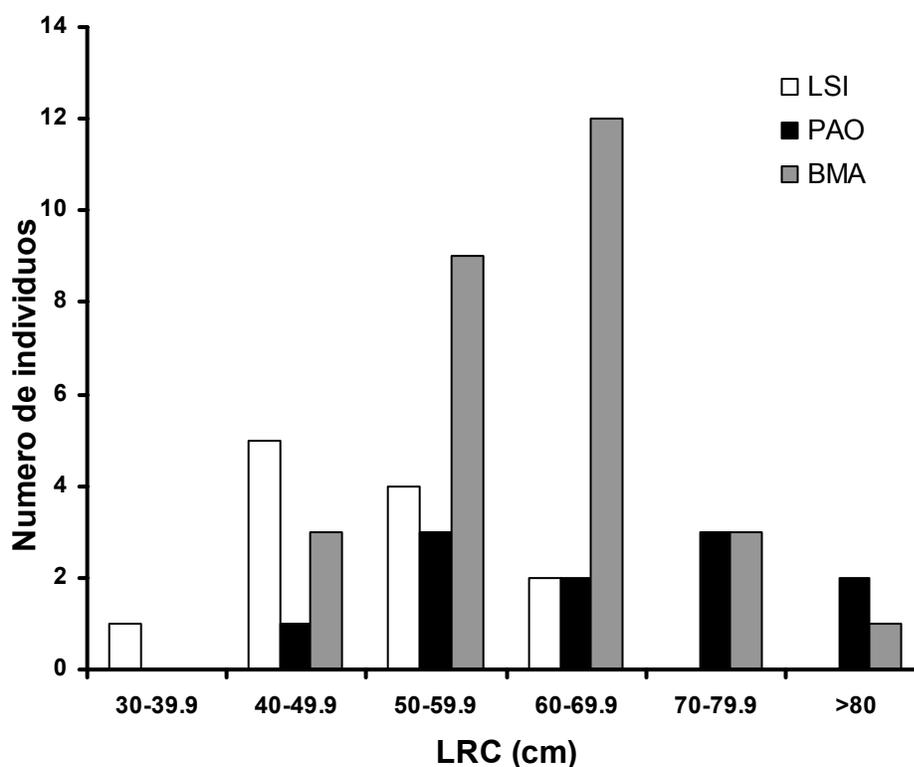


Figura 24.- Distribución de tallas de las tortugas capturadas en la costa Occidental de la Península de BCS: Bahía Magdalena (BMA), Laguna San Ignacio (LSI) y Punta abrejos (PAO).

4. DISCUSIÓN

4.1 Señales isotópicas de las presas potenciales

Para hacer una adecuada descripción de las relaciones tróficas de cualquier organismo utilizando a los isótopos estables como herramienta, resulta necesario describir los patrones naturales de variación de sus presas potenciales. Los valores isotópicos de las presas potenciales de *C. mydas*, en general reflejaron su posición dentro de la cadena trófica (como productores o consumidores) y en algunos casos permitieron identificar posibles relaciones tróficas entre algunos de los grupos.

En el caso de los productores primarios, la $\delta^{15}\text{N}$ en las macroalgas y fanerógamas marinas, no presentaba diferencias significativas entre ellas. Anteriormente, ya se había observado que esta señal tiende a ser poco variable entre ellos (Jones y Waldron, 2003; Rocker *et al.*, 2006; Smith *et al.*, 2006). Este aspecto, hace que los isótopos de nitrógeno sean poco útiles para discriminar entre distintas fuentes vegetales de alimento; pero adecuados para establecer el valor que sirve como base de comparación (baseline) para distinguir niveles tróficos superiores de la cadena de alimentos (Leite *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 2006).

La poca variabilidad que se presenta entre productores se ha asociado a la utilización de una fuente en común de nitrógeno inorgánico disuelto (Román-Reyes, 2003). No obstante, en este trabajo no se midieron directamente la disponibilidad y composición isotópica de las posibles fuentes de nitrógeno (amonio, nitratos y nitritos), por lo que no es posible establecer el origen y la fuente más probable dentro de la bahía. Sin embargo, Bahía Magdalena se ve afectada por eventos de surgencias gran parte del año (Rosales-Villa, 2003) y en este tipo de sistemas se ha encontrado que el nitrato es una fuente de nitrógeno importante para la producción primaria (Aguñiga, 2000).

Al comparar los valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre los diferentes productores y consumidores, no se observó una estructura vertical con niveles tróficos bien definidos, ya que los consumidores presentaron sólo un ligero enriquecimiento en ^{15}N respecto a los productores e incluso algunos grupos de productores (ej. algas cafés) mostraron valores mayores que los consumidores. En general, se ha indicado que la señal de los valores de $\delta^{15}\text{N}$, permite distinguir entre niveles tróficos dentro de una comunidad, ya que los consumidores se verán enriquecidos respecto a sus fuentes de alimento de uno los niveles inferiores o a sus fuentes de alimento (De Niro y Epstein 1981; Minagawa y Wada, 1984).

No obstante, se ha observado que no siempre es posible distinguir fácilmente niveles tróficos en los análisis isotópicos (Vanderklift y Ponsard, 2003; Jones y Waldron, 2003; Bouillon *et al.*, 2002), ya que el enriquecimiento de ^{15}N en algunos consumidores (ej. invertebrados filtradores) puede ser muy bajo respecto a la base de la cadena trófica (Smith *et al.*, 2006) o bien, no coincidir con el factor de enriquecimiento teórico establecido para una presa y su depredador (cita). Lo anterior, se ha asociado a la propia fisiología de los organismos (ej. procesos de discriminación isotópica) o bien, a la complejidad de las relaciones tróficas dentro de una comunidad (Persson *et al.*, 1996). No obstante, los consumidores analizados en este trabajo, no se alimentan directamente de las macroalgas o fanerógamas marinas (Brusca y Brusca, 1999), por lo que no necesariamente debería presentarse una relación clara entre ellos.

Con respecto a los consumidores, se sabe que los cnidarios son depredadores de zooplancton (carnívoros) y las esponjas organismos filtradores de materia orgánica particulada (bacterias y fitoplancton) (Brusca y Brusca, 1999), por lo que se esperaría que estos organismos fueran isotópicamente distinguibles entre si. Cabe señalar que los valores de ^{15}N en los invertebrados, deberían de reflejar los valores isotópicos de sus

fuentes de nutrientes, pero estos no se conocen y son pocos los trabajos con isótopos estables que han considerado a este tipo de organismos y sus posibles presas (ej. Sulak *et al.*, 2006)

En este caso, aunque los cnidarios se encuentran ligeramente enriquecidos en ^{15}N con respecto a las esponjas, no se presentaron diferencias significativas entre ellos, lo que podría indicar que dentro de Bahía Magdalena, estos organismos comparten alguna fuente de nutrientes. Al respecto, Persson *et al.* (1996) mencionan que las relaciones tróficas no discretas como el omnivorismo o el oportunismo son muy comunes dentro de los sistemas costeros, en los cuales se presentan relaciones tróficas muy complejas.

Con respecto al análisis de los isótopos de carbono, los resultados fueron distintos a los observados en los isótopos de nitrógeno, en este caso, se presentó una clara separación (con diferencias significativas) entre dos grupos de presas. Esta distinción ocurrió entre las algas café y las fanerógamas marinas con el resto de las presas potenciales, aunque en este último grupo (invertebrados, las algas rojas y las algas verdes), no fue posible distinguir entre ninguna de las presas.

En diversos estudios se ha observado que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ son muy variables dentro del grupo de los productores primarios (Dauby, 1989; Hemminga y Mateo, 1996; Jennings *et al.*, 1997), lo cual se ha asociado a las diferencias en la discriminación isotópica causadas por las características de cada grupo (tasa de crecimiento, tasa de difusión, vía fotosintética, distribución, etcétera) y de sus fuentes primarias de nutrientes (tipo, origen, concentración, etcétera).

En este caso, tanto las fanerógamas marinas como las algas café mostraron valores menos negativos que el resto de los productores. En general, se ha encontrado que los valores isotópicos en las fanerógamas marinas suelen estar enriquecidos en ^{13}C en comparación con las algas marinas (Vizzini *et al.*, 2002; Román-Reyes, 2003), lo que

se ha asociado a su distribución, aunque no se sabe con exactitud que podría estar determinando esta diferencia. En cambio, los valores isotópicos reportados en distintas especies de macroalgas no presentan un patrón determinado (Kang *et al.*, 1999), esto probablemente por la complejidad de los procesos que determinan las señales isotópicas en estos productores. Por ejemplo, en el caso de las macroalgas, se ha señalado que la capacidad para utilizar CO_2 o HCO^{-3} durante la fotosíntesis, puede determinar las diferencias isotópicas entre especies (Maberly *et al.*, 1992), pero esto a su vez podría estar influido por la temperatura o la disponibilidad de los nutrientes.

Los cnidarios y las esponjas presentaron valores de $\delta^{13}\text{C}$ que se localizaron en el rango de los valores de las algas verdes y rojas. Ya que el análisis de los isótopos de carbono, proporcionan información de las fuentes probables de carbono, los resultados sugieren que las macroalgas podrían estar siendo utilizadas por los invertebrados o por alguna de sus presas. Debido a que estos organismos no se alimentan directamente de las macroalgas (Lasker, 1981; Brusca y Brusca, 1999), esta relación podría establecerse a través del detritus. Dicha relación, ya había sido detectada por el análisis de isótopos estables en otros sitios (Smith *et al.*, 2006; Sulak *et al.*, 2006) y de hecho, se ha señalado la importancia de las macroalgas como fuente de materia orgánica en las zonas costeras, principalmente en forma de detritus (aproximadamente 80% de la biomasa disponible), el cual puede incorporarse de manera eficiente a las redes tróficas (ver. Rodríguez, 2000).

Además, estos resultados refuerzan la idea de que los grupos de invertebrados analizados podrían estar compartiendo alguna fuente de nutrientes (en este caso en forma de detritus), lo que coincidiría con Lasker (1981) el cual menciona que los cnidarios pueden consumir materia orgánica disuelta al igual que las esponjas.

Por el contrario, las fanerógamas marinas y las algas cafés, no representarían una fuente de materia orgánica importante para los invertebrados analizados, ya que sus

señales no coincidieron con las señales de estos grupos o con el resto de las macroalgas. En ocasiones, se ha reportado que las redes tróficas que se localizan en áreas con una cantidad considerable de biomasa de algas cafés y fanerógamas marinas, incorporan de manera substancial esta materia orgánica (Kaehler *et al.* 2000; Kharlamenko *et al.* 2001; Bustamante & Branch 1995). Ya que las fanerógamas son abundantes en la zona (Santamaria *et al.*, 2007), es posible que estos productores, estén contribuyendo con la red trófica a través de otro tipo organismos que no fueron considerados para este trabajo. En cambio, las algas cafés no presentan abundancias importantes dentro de la bahía (González-Ramos y Santos-Baca, 2005), por lo tanto, su aporte de materia orgánica a la cadena de detritos tendría que ser menor.

No obstante, se ha encontrado que el carbono proveniente de las fanerógamas, juega un papel significativo pero no dominante en las redes tróficas (Thayer *et al.* 1978; McConnaughey & McRoy; 1979; Stephenson *et al.*, 1986). En el caso de las algas cafés (ej. *Sargassum*), su papel como refugio suele ser más importante que como fuente de nutrientes (Rooker *et al.*, 2006). En ambos casos, la composición química que caracteriza a cada grupo (Dawes, 1998; Loban y Harrison, 2000; Villegas-Nava, 2006) podría restringir su uso o incrementar el tiempo de digestión o de degradación necesarios para incorporarse a las redes tróficas, disminuyendo su importancia como fuente de materia orgánica en comparación con otros grupos de organismos (ej. algas rojas).

Al comparar los valores isotópicos de las presas potenciales a nivel específico, únicamente se observaron diferencias estadísticas entre algunas de las especies; sin embargo, estas distinciones no permiten profundizar en el análisis de la dieta de la tortuga verde, ya que la información es similar a la ofrecida por el análisis de las presas por grupo.

Las variaciones estacionales en las señales isotópicas, se han asociado principalmente al efecto de las condiciones ambientales sobre las fuentes primarias de nutrientes y en la fisiología de los organismos (Vinizzi, et al., 2002; Gannes *et al.*, 1997; Hemminga y Mateo, 1996; Goering *et al.*, 1990), era de esperarse que dentro de Bahía Magdalena se observaran cambios en la composición isotópica de las presas potenciales a través del tiempo. No obstante, en el análisis temporal de los valores isotópicos, no se encontraron diferencias estadísticas en ninguno de los grupos de presas analizados, a pesar de que dentro de la bahía se han reportado variaciones temporales de temperatura y nutrientes (Rosales-Villa, 2004). Sin embargo, las razones de la variabilidad estacional en los isótopos aun no son comprendidas del todo, principalmente por la complejidad de los procesos físicos químicos y biológicos involucrados en los ciclos de nutrientes (Román-Reyes, 2003).

Con respecto a la reconstrucción de la dieta de la tortuga verde, la poca variabilidad que se presentó de los isótopos de nitrógeno en sus presas potenciales, limitó la técnica para trazar las fuentes de nitrógeno. A pesar de esto, esta señal pudo utilizarse como indicadora del status trófico de la tortuga, de acuerdo al supuesto de que los niveles tróficos superiores presentarán una $\delta^{15}\text{N}$ mayor que los niveles inferiores (De Niro y Epstein 1981; Minagawa y Wada, 1984; Roman-Reyes, 2003). Por el contrario, las diferencias encontradas en las señales del carbono en las presas potenciales permitieron identificar hasta cierto punto, los grupos que están siendo consumidos y asimilados por las tortugas, ya que este es un supuesto necesario para poder asignar a las presas mediante la técnica de los isótopos estables.

Finalmente se sugiere que en trabajos posteriores se considere a las posibles fuentes de nutrientes de las presas potenciales de la tortuga verde (ej. nitratos, detritus, fitoplancton o zooplancton) así como el tomar un mayor tamaño de muestras por grupo,

especie y temporada. Esto con el fin de hacer una descripción isotópica detallada del hábitat de la tortuga verde así como de los procesos que afectan sus variaciones dentro de Bahía Magdalena, lo cual permitirá tener una visión más integral de las interacciones que involucran a la tortuga verde en sus zonas de alimentación.

4.2 Patrones de variación isotópica y reconstrucción de la dieta

Para realizar un estudio detallado de los hábitos de alimentación de cualquier organismo, se ha sugerido la utilización de tejidos con diferentes tasas de recambio, ya que cada tejido refleja la composición isotópica en diferentes escalas de tiempo (Tieszen *et al.*, 1983). En el presente estudio se analizaron las proporciones isotópicas de la piel y el plasma sanguíneo de tortuga verde encontrando que estos tejidos proporcionan información complementaria respecto a los hábitos de alimentación a lo largo del tiempo, en especial en el caso de los isótopos de carbono.

Por un lado, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ observados en los tejidos de tortuga verde no mostraron diferencias significativas entre ellos, lo cual indicaría que el estatus trófico es el mismo considerando ambas escalas de tiempo de integración de la dieta. Dichos valores mostraron un enriquecimiento en ^{15}N respecto al resto de las presas potenciales, lo que colocaría a la tortuga verde en un nivel trófico mayor al de todos los grupos (DeNiro y Epstein, 1981; Minagawa y Wada, 1984). De hecho, el análisis de similitud con base en estos valores distinguió a los tres grupos de organismos analizados: productores primarios, invertebrados y a la tortuga verde.

Aunque podría parecer que la tortuga verde se está alimentando de los niveles tróficos inferiores (productores e invertebrados), estos resultados no necesariamente reflejan una interacción trófica entre los organismos, ya que dicha señal funciona más

como indicadora del status trófico que como trazadora de las fuentes de nitrógeno (Roman-Reyes, 2003, Plouffe-Malette *et al.*, 2008).

Asimismo, se ha señalado los isótopos de carbono reflejan de manera más precisa las relaciones tróficas de los organismos, ya que su señal varía poco a través de la cadena trófica y por lo tanto hace más evidente la relación entre una presa y su depredador, aun dentro de una red de alimentos compleja (Román-Reyes, 2003).

En este caso, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en ambos tejidos, sugieren que la tortuga verde dentro de Bahía Magdalena es un organismo omnívoro, al coincidir tanto con grupos de productores como de invertebrados. Lo anterior, es consistente con los estudios tradicionales sobre alimentación de tortuga verde, que sugerían que las poblaciones de la tortuga verde del Pacífico Este (Bjorndal, 1998; Seminoff, 2002), incluyendo a las tortugas dentro de Bahía Magdalena (López-Mendilaharsu *et al.*, 2005) presentaban hábitos omnívoros y no exclusivamente herbívoros.

Como el análisis de isótopos estables identifica a las presas que realmente son asimiladas, este trabajo en conjunto al realizado por Plouffe-Malette *et al.* (2008) confirmarían que la materia animal, por lo menos para las poblaciones del Pacífico Este, podría significar un aporte extra de energía o nutrientes (aun si estos se están ingiriendo de manera accidental), tal como se había planteado a través del análisis de los contenidos y lavados estomacales (Seminoff *et al.*, 2002; López-Mendilaharsu *et al.*, 2005; Amorocho y Reina, 2007).

Es importante señalar que Plouffe-Malette *et al.* (2007) definieron a las tortugas que se alimentan dentro de Bahía Magdalena, como organismos exclusivamente herbívoros, lo que no coincide con los resultados de este trabajo. Probablemente esto se deba a que a nivel de las presas potenciales, no fue posible distinguir los valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre los invertebrados y las macroalgas, lo que estaría limitando la discriminación entre

hábitos completamente herbívoros u omnívoros de las tortugas. Es por esto, que se recomienda hacer un estudio detallado de las presas potenciales a nivel local con el fin de evitar errores en la interpretación del estatus trófico al utilizar la técnica de los isótopos estables.

Si bien no se presentaron diferencias en la proporción de isótopos de nitrógeno entre los tejidos, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ si mostraron diferencias importantes entre ellos. Aunque las diferencias que se presentan en $\delta^{13}\text{C}$ entre tejidos, se han atribuido a la composición bioquímica de cada uno de ellos y se ha señalado que la proporción de lípidos puede afectar de manera importante a los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (De Niro y Epstein, 1977; Tieszen *et al.*, 1983; Seminoff *et al.*, 2006). En este trabajo, se eligió extraer los lípidos antes del análisis para evitar el factor de variación asociado, por lo que se asume que las diferencias encontradas entre los tejidos, reflejan la composición de la dieta como resultado del tiempo de recambio del tejido en cuestión y por consiguiente de su actividad enzimática metabólica (Tieszen *et al.*, 1983).

Por un lado, el rango de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de las tortugas analizadas fue mayor en piel que en plasma sanguíneo. La señal isotópica observada en piel abarcó a todos los grupos de presas potenciales (fanerógamas marinas, algas rojas, cafés y verdes e invertebrados), mientras que la señal isotópica del plasma sanguíneo coincidió únicamente con algunos de los grupos (invertebrados, algas rojas y algas verdes). Ya que la piel representa un periodo de integración de la dieta más largo (Reich *et al.* 2007; Plouffe-Malette *et al.*, 2007), su señal podría estar reflejando todas presas utilizadas a lo largo del año, incluyendo aquellas que son consumidas de manera accidental u oportunista; en cambio, la información integrada en el plasma sanguíneo corresponde a un periodo de tiempo más corto (2-4 meses) (Reich *et al.* 2007; Seminoff *et al.*, 2007) por

lo que este tejido detectaría un menor número de presas, posiblemente aquellas que son consumidas con mayor frecuencia.

Es por esto, que de acuerdo al análisis de isótopos estables se sugiere que las tortugas se están alimentando de manera preferencial de los invertebrados, las algas verdes y las algas rojas, y en menor medida de las algas cafés y fanerógamas marinas.

El consumo de estos grupos de presas es consistente a lo observado en distintas áreas de alimentación a lo largo del mundo (ej. Mortimer, 1981; Garnett et al., 1985; Forbes, 1996; Brand-Gardner et al., 1999; Seminoff et al. 2002), en donde las algas rojas y verdes constituyen una parte importante de la dieta de las tortugas. Además, López-Mendilaharsu et al. (2005), ya habían señalado que las presas más abundantes en los contenidos estomacales dentro de Bahía Magdalena, lo eran las algas rojas *Gracilariopsis lemaneiformis*, *Gracilaria pacifica* e *Hypnea johnstonii* y el alga verde *Codium amplivesiculatum*.

En el caso de los invertebrados, tanto las esponjas (López-Mendilaharsu et al., 2005; Seminoff et al., 2002) como los gorgónidos (Seminoff et al., 2002) ya habían sido identificados en los contenidos estomacales de la tortuga verde tanto en Bahía Magdalena como en Bahía de los Ángeles; sin embargo, los hidrozoarios no habían sido detectados por los métodos tradicionales, posiblemente porque sus tejidos son incoloros (obs. pers.) (y quizás de fácil digestión), lo que dificultaría su identificación. Cabe señalar que durante el muestreo se observó que los hidrozoarios pueden estar asociados a las macroalgas (en especial a las algas rojas) por lo que su ingestión podría ser accidental, aunque de acuerdo al análisis de isótopos estarían siendo asimilados por las tortugas.

Asimismo, se ha sugerido que la langostilla *Pleurocontes planipes* podría estar siendo consumida de manera frecuente por las tortugas que se alimentan dentro de Bahía Magdalena (López-Mendilaharsu et al., 2005); sin embargo, en este caso no se obtuvieron

muestras de este crustáceo y por lo tanto, no fue posible confirmar o descartar su consumo por parte de las tortugas mediante utilizando el análisis de isótopos estables.

Como se había mencionado, las señales isotópicas en piel muestran que las tortugas podrían estar ingiriendo y asimilando a las fanerógamas marinas, aunque no de manera importante en comparación con las macroalgas y los invertebrados. Al respecto, López-Mendilaharsu (2002) había observado que *Zostera marina* era poco consumida dentro de la bahía, pero no era posible saber si esta presa realmente estaba siendo asimilada por las tortugas, ya que solo se tenía la información de los contenidos estomacales.

Al parecer, dentro de Bahía Magdalena existe un consumo preferencial por las macroalgas, a pesar de la disponibilidad de *Zostera marina* en la bahía, ya que las praderas de esta especie en el área de estudio, se encuentran durante todo el año y en algunos sitios de la bahía presentan una abundancia importantes (Santamaría-Gallegos *et al.*, 2007), lo cual ya había sido sugerido por López-Mendilaharsu (2002). Es posible que la calidad (ej. digestibilidad) y la capacidad digestiva de la microflora de las tortugas limiten la asimilación de especies como *Zostera marina* y las algas cafés (Bjorndal, 1980; Mendilaharsu *et al.*, 2005).

Estos resultados, muestran que la hipótesis que mantienen algunos autores respecto al uso preferencial de las fanerógamas marinas sobre las macroalgas, no siempre es correcta, ya que se decía que las tortugas verdes se alimentarían de las macroalgas cuando la disponibilidad de las fanerógamas fuera baja o nula (Mortimer, 1981; Bjorndal, 1980). Asimismo, López-Mendilaharsu (2002) observó que el alga café *Sargassum sinicola* únicamente se había presentado en el contenido estomacal de una de las tortugas capturadas y que además era la presa con menor importancia. En Bahía de los Ángeles fueron encontradas en muestras fecales, fragmentos intactos de especies del

género *Sargassum*, lo que indicaría que las mismas no fueron digeridas (Seminoff *et al.*, 2002). Sin embargo, el análisis de isótopos estables muestra que a pesar de que su consumo es inferior al resto de las presas, esta especie podría funcionar como una fuente de carbono extra para algunas de las tortugas.

También se ha señalado que las tortugas marinas podrían alimentarse de manera oportunista de presas de menor calidad, cuando sus recursos más importantes no se encuentran en el medio o su disponibilidad es muy baja (Bjorndal, 1979; Whiting y Miller, 1998; Villegas-Nava, 2006). Dentro de la zona de alimentación, algunas de las especies “predilectas” presentan fluctuaciones importantes en su abundancia y distribución (González-Ramos y Santos-Baca; 2005) afectando su disponibilidad y por lo tanto su consumo. Esto probablemente explica la presencia de recursos como las fanerógamas marinas o las algas cafés en la dieta de las tortugas, ya que su consumo podría estar complementado las necesidades nutricionales o energéticas de las tortugas, esto en especial en el caso de *Z. marina* la cual está disponible a lo largo del año.

Como era de esperarse, en el análisis temporal de las señales isotópicas, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos de tortuga no variaron de manera significativa a lo largo de tiempo, coincidiendo con el estatus trófico identificado en este mismo trabajo. Incluso, la consistencia de esta señal, había sido señalada como una herramienta de diagnóstico adecuada para estudios de varios años (Plouffe-Malette *et al.*, 2007). En el caso de la señal de $\delta^{13}\text{C}$, en la piel no se observaron cambios significativos a lo largo del año, aunque si en el plasma sanguíneo. Nuevamente, el tiempo de integración de cada tejido podría estar influyendo en las diferencias que se presentan entre tejidos, ya que la piel representa un mayor tiempo de integración en relación al plasma sanguíneo y por lo tanto no podría detectar variaciones en la dieta que se presentaran en periodos cortos de tiempo (ej. entre meses o entre estaciones).

De acuerdo con las variaciones observadas en las señales del plasma sanguíneo, al parecer las tortugas modifican los componentes de su dieta, lo cual ya había sido detectado por López-Mendilaharsu (2002) quien encontró que la importancia relativa de las presas de la tortuga verde dentro de Bahía Magdalena, puede variar de manera estacional. Considerando que el plasma sanguíneo representa un tiempo de integración de 2-4 meses (Reich *et al.* 2007; Seminoff *et al.*, 2007), las señales isotópicas mostrarían que un consumo de algas rojas y esponjas durante verano-otoño del 2005, de algas verdes en otoño del 2005-invierno del 2006, nuevamente de algas rojas en invierno-primavera del 2006 y finalmente de algas rojas y cnidarios en los meses de primavera del 2006-invierno 2007.

Sin embargo, estos resultados no coincidieron con lo observado en contenidos estomacales por López-Mendilaharsu (2002) en cuanto a la importancia de las presas durante cada temporada, lo que podría deberse a la imprecisión que se tiene respecto a las tasas de recambio porque únicamente se cuenta con estimaciones para otra especie de tortuga marina (*Carreta caretta*, ver Reich *et al.* 2007) y no para la tortuga verde.

Ya que la señal de los isótopos de carbono depende de la localidad geográfica en que se alimentan los organismos (Sechell *et al.*, 1989), es importante señalar que aunque las señales variaron a lo largo del tiempo, el promedio nunca estuvo por fuera del rango de las presas potenciales. Esto sugiere que las tortugas capturadas dentro de la bahía son un grupo residente, que no presenta movimientos entre las distintas zonas de alimentación, lo cual coincide a lo observado por Brooks *et al.* (2007), quienes encontraron que las tortugas de Bahía Magdalena permanecen dentro de la zona por lo menos durante 20 años antes de comenzar a migrar hacia sus zonas de alimentación.

En lo que respecta a la talla de los organismos, se observó que al igual que en los trabajos de López-Mendilaharsu *et al.* (2005) y Brooks *et al.* (2007), la mayor parte de las

tortugas capturadas dentro de Bahía Magdalena fueron organismos con tallas menores a los 77.3 cm (LRC), las cuales se consideran en ambos trabajos como tortugas inmaduras. López-Mendilaharsu *et al.*, (2005) menciona que al parecer existe una separación espacial entre las tortugas adultas y las inmaduras, con los organismo de menor tamaño dentro de la bahía y el resto en las aguas adyacentes del pacífico. Dicho comportamiento, ha sido observado en otros sitios (Coyne, 1994; Seminoff *et al.* 2003) y se ha asociado a diferencias en las demandas energéticas que se presentarían a lo largo de las etapas de desarrollo de las tortugas verdes.

Como se había señalado, el consumo preferencial de algunas especies por parte de las tortugas, podría deberse a la capacidad digestiva de los organismos inmaduros (en relación a la madurez del tracto digestivo), ya que se ha señalado que este podría ser un factor importante (Bjorndal, 1980; Wood y Wood, 1981) en la selección de sus presas principales. En este caso, se encontró que las algas verdes dentro de la zona de alimentación en relación a las algas rojas y *Z. marina*, presentaban una calidad nutricional baja (Villegas-Nava, 2006) y una distribución espacial y temporal limitada (González-Ramos y Santos-Baca, 2005). A pesar de esto, tanto en el trabajo de López-Mendilaharsu *et al.* (2005) como en el presente estudio, se muestra que el consumo de las algas verdes está muy por encima del de *Z. marina*, lo que podría indicar que las tortugas inmaduras consumen algas verdes su bajo contenido en fibra cruda (Villegas-Nava, 2006), ya que aun no presentan las características fisiológicas para aprovechar a especies con niveles altos de fibra como es el caso de las fanerógamas marinas (Dawes, 1998; Loban y harrison, 2000; Villegas-Nava, 2006).

Al comparar los valores isotópicos entre las distintas clases de tallas observadas, únicamente se encontraron diferencias significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos en plasma sanguíneo. En este caso, la clase de talla de 70 a 79.9 cm mostró una señal

enriquecida en ^{15}N mayor al resto de las clases de tallas, sin embargo, esta señal corresponde a un solo organismo, por lo que no es posible hacer alguna afirmación respecto al consumo en general, de los organismos de este tamaño. No obstante el valor de $\delta^{13}\text{C}$ muestra que la tortuga se alimentó dentro de la bahía y trabajos anteriores han observado que un solo organismo puede presentar una dieta completamente diferente al resto (López-Mendilaharsu *et al.*, 2005).

El análisis de los valores isotópicos encontrados a lo largo de la costa occidental de la península, mostraron que las tortugas de Laguna San Ignacio, probablemente estén consumiendo diferentes presas a las utilizadas en Punta abreojos y Bahía Magdalena. Nuevamente las señales encontradas en piel y plasma sanguíneo, proporcionaron información complementaria respecto a los hábitos de alimentación, asociado al tiempo de integración de la dieta de cada tejido.

El análisis de la piel mostró que las tortugas de las tres localidades estarían consumiendo los mismos recursos, en dado caso, si las tortugas en Bahía Magdalena se alimentan de macroalgas e invertebrados, la dieta en Punta Abreojos y San Ignacio probablemente también está constituida por estos grupos de presas. Además, como se encontraron diferencias significativas en el análisis isotópico del plasma sanguíneo, esto reveló que las tortugas dentro de Laguna San Ignacio podrían estar consumiendo otros grupos de presas.

Ya que los valores isotópicos encontrados en Laguna San Ignacio en relación a las otras dos localidades, se mostraron empobrecidos en ^{15}N y enriquecidos en ^{13}C , lo cual podría significar que las tortugas podrían estar consumiendo de manera importante, alguna especie de fanerógama marina (ej. *Zostera marina*), ya que este grupo de productores generalmente está enriquecido en ^{13}C en comparación con las macroalgas o

el fitoplancton (Kang, 1999; Vizzini *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 2006) y el cual tiene una amplia distribución dentro de esa zona de alimentación (Vergara-Rodarte, 2006).

Este resultado reflejaría que la diversidad y disponibilidad de las presas potenciales podría ser diferente y que existe una dicotomía en poblaciones de tortugas que se alimentan en hábitats relativamente próximos; esta dicotomía se ha observado en otros sitios (Honduras, Islas Fiji y Australia) (Carr, 1952; Hirth, 1971; Limpus *et al.*, 1992) incluyendo el Golfo de California (Felger y Moser, 1973), con tortugas que se alimentan principalmente de macroalgas y otras de fanerógamas marinas.

Por otro lado, el tamaño promedio de los organismos no mostró diferencias significativas, lo que indicaría que no existe una segregación a lo largo de la costa del pacífico de acuerdo a la edad. Brooks *et al.* (2007), mencionan que las tortugas de Bahía Magdalena son un grupo residente que permanece por lo menos 20 años antes de comenzar a migrar hacia sus zonas de anidación, por lo que podría suponerse que no existe un intercambio entre las distintas zonas de alimentación y que cada una de estas poblaciones representa a un grupo discreto. Respecto a esto, es de particular interés el conocer los factores que estarían determinando la selección de un hábitat en particular por parte de las tortugas inmaduras, al pasar de la etapa pelágica a la etapa nerítica.

Finalmente, es importante señalar que hasta la fecha no existe información respecto a los hábitos de alimentación de la tortuga verde dentro de Laguna San Ignacio y Punta Abrejos. Es por esto, que para lograr una descripción adecuada de su ecología, es necesario complementar los resultados obtenidos en el presente trabajo, con el análisis isotópico de las presas potenciales en dichas zonas de alimentación e incluso integrar estos resultados con estudios del contenido estomacal y de la disponibilidad relativa las presas en el hábitat.

5. CONCLUSIONES

- En general, los valores isotópicos de las presas potenciales reflejaron su posición dentro de la cadena trófica (como productores o consumidores) y en algunos casos permitieron identificar posibles relaciones tróficas entre algunos de los grupos.
- Tanto los valores de $\delta^{15}\text{N}$ como de $\delta^{13}\text{C}$ mostraron que los grupos de invertebrados podrían estar compartiendo alguna fuente de nutrientes, en este caso, detritus proveniente de la descomposición de las macroalgas.
- Al parecer, los valores isotópicos de las presas potenciales no se ven afectados por la temporada de muestreo; sin embargo, resulta necesario incrementar el número de muestras por especie, grupo y temporada, para hacer una descripción isotópica detallada del hábitat de la tortuga verde así como de los procesos que podrían afectar sus valores.
- Las proporciones isotópicas de la piel y el plasma sanguíneo de tortuga verde proporcionaron información complementaria respecto a sus hábitos de alimentación a lo largo del tiempo, en especial en el caso de los isótopos de carbono. Al parecer, la señal en piel estaría reflejando todas las presas utilizadas a lo largo del año, incluyendo aquellas que son consumidas de manera accidental u oportunista; en cambio, la información integrada en el plasma sanguíneo detectaría un menor número de presas, posiblemente aquellas que son consumidas con mayor frecuencia.
- Las señales isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en ambos tejidos, sugieren que la tortuga verde dentro de Bahía Magdalena es un organismo omnívoro que se alimenta principalmente de macroalgas e invertebrados y en menor medida de algas cafés y fanerógamas marinas.
- De acuerdo con las señales isotópicas del plasma sanguíneo, las tortugas estarían modificando los componentes de su dieta a lo largo del año, aunque manteniéndose dentro de la misma zona de alimentación.
- En lo que respecta a la talla de los organismos, se observó que la mayor parte de las tortugas era organismos con tallas menores a los 77.3 cm (LRC) consideradas como organismos inmaduros, por lo que no fue posible hacer alguna afirmación respecto al efecto de la talla en los valores isotópicos.
- Las señales isotópicas en plasma sanguíneo muestran que la tortuga verde se alimenta de los mismos recursos (macroalgas e invertebrados) a lo largo de la costa occidental de la Península. No obstante, las señales en la piel muestran que dentro de laguna San Ignacio probablemente están consumiendo diferentes presas (ej. *Z. marina*).
- Al parecer, los hábitos de alimentación de la tortuga verde dependen por un lado, de temporada del año y la talla de los organismos, y por otro, de las características de sus presas, en especial por su calidad nutricional y su disponibilidad.

6. LITERATURA CONSULTADA

- Aguiñiga, S. 2000, Aspectos de la geoquímica del material orgánico en el BAC del Golfo de Ulloa, B.C.S. En: BAC, Centros de actividad biológica del Pacífico mexicano. 111-123. D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S. E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (eds.). **CIBNOR**. La Paz, B.C.S. México.
- Alexander, R. McN. 1991. Optimization of gut structure and diet for higher vertebrate herbivores. **Philosophical Transactions Royal Society London**. 333: 249-255.
- Alvarado, J. y Figueroa, A. 1995. East Pacific Green Turtle, *Chelonia mydas*. Pp. 24-36. In Plotkin, P.T.(Editor). National Marine Fisheries Service and U.S Fish and Wildlife Service Status Reviews for Sea Turtles Listed under the Endangered Species Act of 1973. National Marine Fisheries Service. EUA. 139pp.
- Bjorndal KA. 1997. Foraging ecology and nutrition of sea turtles. In: **The Biology of Sea Turtles**, P. Lutz P, Musick J (eds). CRC Press: Boca Raton, FL; 199–232.
- Bjorndal K. A .1999. Priorities for research in foraging habitats. In K. L. Eckert, K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois, and M. Donnelly (eds.), Research and Management Techniques for the Conservation of Sea Turtles, pp. 12–18. IUCN/SSC **Marine Turtle Specialist Group Publication** No. 4, Washington, DC.
- Bouillon, S., A.V. Raman, P. Dauby, F. Dehairs. 2002. Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios of Subtidal Benthic Invertebrates in an Estuarine Mangrove Ecosystem (Andhra Pradesh, India). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 54(5): 901-913.
- Carr A., M. H. Carr y A. Meylan. 1978. The ecology and Migrations of sea turtle. The West Caribbean green turtle colony. **Bull. Amer. Mus. Natur. Hist**. 155:387-436pp.
- Casas-Andreu, G. y S. Gomez-Aguirre. 1980. Contribución al conocimiento de los hábitos alimenticios de *Lepidochelys olivacea* y *Chelonia mydas agassizii* (Reptilia:Chelonidae) en el Pacífico mexicano. **Boletín do Instituto Oceanográfico**. Sao Paulo. 29 (2): 87-89
- Clifton, K., D.O. Cornego y R.S. Felger. 1982. **Sea turtles of the Pacific Coast of Mexico**. In K.A. Bjorndal (ed.). Biology and Conservation of Sea Turtles. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. pp 199-210.
- Coyne MS. 1994. Feeding ecology of subadult green sea turtles in south Texas waters. **Unpublished MS Thesis**, Texas A&M University.

- Erhenfeld, D. 1982. Options and limitations in the conservation of sea turtles. In K. A. Bjorndal (ed.), *Biology and Conservation of Sea Turtles*, **Smithsonian Institution Press**, Washington, DC. 457–464 Pp.
- First T.H. 1981. Pelagic feeding habitats of turtles in the eastern Pacific. *Mar. Turtle Newsl.* 17: 4.
- Fitzgerald, S.L. 2004. **Tesis de Maestría en Ciencias**. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz. 120pp.
- Frick, J. 1976. Orientation and behaviour of hatchling green turtles (*Chelonia mydas*) in the sea. En: **The biology of sea turtle**. P. L. Lutz y J. A. Musick (Ed). Vol 1. 429pp.
- Gardner, S.C. and W.J. Nichols. 2001. Assessment of sea turtle mortality rates in the Bahía Magdalena region, B.C.S., México. **Chelonian Conservation and Biology**, 4(1):197-199.
- Gardner, S.C., M.D. Pier, R. Wesselman, J. Arturo-Juárez. 2003. **Marine Pollution Bulletin**. 46(9):1082-1089.
- Gardner, S., S. Fitzgerald, L. Acosta, B. Méndez-Rodríguez, 2006. **Heavy metal accumulation in four species of sea turtles from the Baja California peninsula, Mexico**. *BioMetals* 19:91–99
- Garnett, S. T.; I. R. Pirce y F. J. Scott. 1985. The diet of the green turtle, *Chelonia mydas* (L.), in Torres Strait. **Australian Wildlife Research**. 12: 103-112.
- Godley, B.J., D. R. Thompson, S. Waldron, R. W. Furness. 1998. The trophic status of marine turtles as determined by stable isotope analysis. **Marine Ecology Progress Series**. 166: 277-284.
- González-Ramos M. S. y L. Santos-Baca. 2005. Macroalgas Asociadas a la Zona de alimentación de la Tortuga verde del Pacífico Este (*Chelonia mydas agassizii*) en el Estero Banderitas, B. C. S. **Tesis de Licenciatura**. UABCS. México. 280pp.
- Hamilton, S. K., W. M. Lewis Jr. 1992. Stable carbon and nitrogen isotopes in algae and detritus from the Orinoco River floodplain, Venezuela. **Geochimica et Cosmochimica acta**. 56 (12): 4237-4246
- Hilbert, S. C., S. C. Gardner, R. Riosmena-Rodríguez y W. J. Nichols. 2005. Diet composition of East Pacific Green Turtles (*Chelonia mydas*) in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. **Proc 21th. Ann. Symp. Sea Turtle Biol. Conservation**. Philadelphia Pennsylvania.
- Hirth HF. 1997. Synopsis of the biological data on the green turtle, *Chelonia mydas* (Linnaeus 1758). United States Fish and Wildlife Service Biological Report 97.

- Hobson, K.A. and R.G. Clark. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes II: Factors influencing diet-tissue fractionation. *Condor* **94**:189-197.
- Hobson, K.A. and R.G. Clark. 1993. Turnover of ^{13}C in cellular and plasma fractions of blood: implications for nondestructive sampling in avian dietary studies. *Auk* **110**:638-641.
- Hughes RH (1980) Optimal foraging theory in the marine context. **Oceanography and Marine Biology Annual Review** 18: 423-481.
- Ishihi, Y., Y. Yamada, T. Ajisaka, H. Yokohama. 2001. Distribution of stable carbon isotope ratio in sargassum plants. **Fish Science**. 67:367–369
- Jennings, S., O. Renones, B. Morales, V. C. Polunin. 1997. Spatial variation in the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotope composition of plants, invertebrates and fishes on Mediterranean reefs: implications for the study of trophic pathways. **Marine Ecology Progress Series**. 146: 109-116
- Jepsen B. y O. Winemiller. 2002. Structure of tropical river food webs revealed by stable isotope ratios. **OIKOS** 96: 46–55.
- Kaehler S., E. Pakhomov, C. McQuaid. 2000. Trophic structure of the marine food web at the Prince Edward Islands (Southern Ocean) determined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. **Marine Ecology Progress Series**. 208:13–20
- Kharlamenko, V.I., S.I. Kiyashko, A.B. Imbus, D.I. Vyshkvartzev. 2001. Identification of food sources of invertebrates from seagrasses *Zostera marina* community using carbon and sulfur isotope ratios and fatty acid analyses. **Marine Ecology Progress Series**. 220:103–117
- Lasker, H.R. 1981. A Comparison of the Particulate Feeding Abilities of Three Species of Gorgonian Soft Coral. **Marine Ecology Progress Series**. 5: 61-67.
- Leite RG, A. Araújo-Lima, RL Victoria, LA Martinelli. 2002. Stable isotope analysis of energy sources for larvae of eight fish species from the Amazon floodplain. **Ecology of Freshwater Fish**. 11: 56–63.
- León, Y. M. y K. A. Bjørndal. 2002. Selective feeding in the hawksbill turtle, an important predator in coral reef ecosystems. **Marine Ecology Progress Series**. 245:249–258.
- Limpus C.J. y D.J. Limpus. 2000. Mangroves in the diet of *Chelonia mydas* in Queensland: population structure in a warm temperature feeding area. **Memoris of the Queensland Museum** 35: 139-154.
- Lobban C. y Harrison P. J. 2000. Seaweed ecology and physiology. **Cambridge University Press**. USA. 336pp.

- López-Mendilaharsu, M. 2002. **Ecología alimenticia de *Chelonia mydas agassizii* en Bahía Magdalena, B.C.S., México**. Tesis de Maestría. CIBNOR.60p.
- López-Mendilaharsu, M., S.C. Gardner, R. Riosmena-Rodriguez, J.A. Seminoff. 2005. Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific Coast of the Baja California Peninsula, México. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, 15(3):259-269
- Márquez, R. 2002. Las Tortugas Marinas y Nuestro Tiempo. **La Ciencia para Todos**. México. 197pp.
- McConnaughey, T., C. P. McRoy. 1979. Food web structure and the fractionation of carbon isotopes in the Bering Sea. **Marine Biology**. 53: 257-262
- McCutchan H., W.M. Lewis, C. Kendall y C.C. McGrath. 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulphur. **OIKOS** 102: 378–390.
- Méndez, L., B. Acosta, S.T. Alvarez-Castañeda, C.H. Lechuga-Devéze. (1998). **Bulletin of environmental Contamination and Toxicology**. 61(5):616-620.
- Morrissey, C.A, L. Bendell-Young y J. E. Elliott. 2004. Linking contaminant profiles to the diet and breeding location of American dippers using stable isotopes. **Journal of Applied Ecology**. 41: 502–512.
- Moncreiff, C. A. y M. J. Sullivan. 2001. Trophic importance of epiphytic algae in subtropical seagrass beds: evidence from multiple stable isotope analyses. **Marine Ecology Progress Series** 215: 93-106.
- Mortimer, J.A. 1982. Feeding Ecology of Sea Turtles. En K. A. Bjornadal (ed.) *Biology and Conservation of Sea Turtles*, pp. 199-209. **Smithsonian Institution Press**, Washington, D.C.
- Nichols, W.J., J. A. Seminoff and A. Resendiz. 2000. The status of sea turtle conservation in Baja California, México: from “Black Steer” to Sacred Cow. **20th Annual Sea Turtle symposium**.
- Penry DL & PA Jumars (1986) Chemical reactor theory and optimal digestion. **BioScience**. 36: 310-315.
- Persson, L., J. Bengtsson, B.A. Menge, M.E. Power. 1996. Productivity and consumer regulation: concepts, patterns, and mechanisms. In: G. A. Polis y K.O. Winemiller (eds.) *Food webs integration of patterns and dynamics*. **Chapman & Hall**, New York, 396–434
- Peterson, B. J. y B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual Review of Ecology and Systematics**. 18:293–320.

- Pyke GH (1984) Optimal foraging theory: a critical review. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 523-538.
- Rodríguez, S. R. 2000. Transferencia de recursos alimentarios entre diferentes ambientes del ecosistema marino. **Revista Chilena de Historia Natural**. 73(1).
- Roman-Reyes, J. C. 2003. Información ecológica a partir del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno en las cadenas tróficas. **Examen predoctoral**. CICIMAR. México. 47pp.
- Roman-Reyes, J. C. 2003a. Preparación de muestras para la determinación de isótopos estables de carbono y nitrógeno en el espectrómetro de masas. Estancia de Investigación. CICIMAR. México. 30pp.
- Rooker, J.R., P. J. Turner, Holt, S.A. 2006. Trophic ecology of *Sargassum*-associated fishes in the Gulf of Mexico determined from stable isotopes and fatty acids. **Marine Ecology Progress Series**. 313: 249–259
- Sánchez- Rodríguez, I., C. Fajardo y O. Pantoja. 1989. Estudio florístico estacional de las macroalgas en Bahía Magdalena, BCS., México. **Investigaciones Marinas CICIMAR** 4 (1): 35-48.
- Seminoff, J.A. , K. A. Bjorndal y A. B. Bolten. 2007. Stable Carbon and Nitrogen Isotope Discrimination and Turnover in Pond Sliders *Trachemys scripta*: Insights for Trophic Study of Freshwater Turtles. **Copeia**. 3: 534–542
- Seminoff, J.A., W. J. Nichols, A. Resendiz y A. Galvan. 2000. **Proc. 18th. Ann. Symp. Sea Turtle Biol. Conserv. NOAA Tech. Memo**. NMFSC-436
- Seminoff, J.A., A. Resendiz y W. J. Nichols. 2002. Diet of the East Pacific green turtle, *Chelonia mydas*, in the central Gulf of California, México. **Journal of Herpetology**. 36: 447-453.
- Seminoff, J. A., W. J. Nichols y A. Resendiz . 2002a. Movement and home range of the East Pacific green seaturtle from Micgoacan, México to a feeding ground on the Sonora coast of the Gulf of California. **The Southwestern Naturalist**. 47 (2): 314-316pp.
- Seminoff, J.A., T. Jones, T. Eguchi¹, D. R. Jones, P. H. Dutton. 2006. Stable isotope discrimination ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) between soft tissues of the green sea turtle *Chelonia mydas* and its diet. **Marine Ecology Progress Series**.308: 271–278
- Stephenson, R.L., F.C. Tan y K.H. Mann. 1986. Use of stable carbon isotope ratios to compare plant material and potential consumers in a seagrass bed and a kelp bed in Nova Scotia, Canada. **Marine Ecology Progress Series**. 30: 1-7

- Sulak, K., J. Berg, M. Randal, G. Dennis, A. Brooks. 2006. Stable Isotope Analysis of Trophic Structure Reveals Dual Carbon Sources Fueling the GOM Outer Continental Shelf Ecosystem. **Coastal Ecology & Conservation Research Group, Gainesville, Florida**. Strategic Review in St. Petersburg, Florida.
- Thayer, G. W., P. L. Parker, M.W. LaCroix, B. Fry. 1978. The stable carbon isotope ratio of some components of an eelgrass (*Zostera marina*) bed. **Oecologia**. 35:1-12
- Tieszen L. L., T. W. Boutton, K. G. Tesdahl, y N. A. Slade, 1983. Fractionation and turn-over of stable carbon isotopes in animal tissues: implication for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia* 57, 32-37.
- Vanderklift, M.A. y S. Ponsard. 2003. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*. 136:169–182
- Vergara-Rodarte, M. A. 2006. Tendencias poblacionales de *G. vermiculophylla*. **Tesis de Licenciatura**. UABCS. México. 34pp.
- Villegas-Nava, F. E. 2006. Análisis nutricional de macroalgas y pastos asociados a la alimentación de tortuga prieta *Chelonia mydas agassizii* (Bocourt, 1968), en Bahía Magdalena, B.C.S., México. **Tesis de Licenciatura**. UABCS. México. 55pp.
- Whiting S. C. y J. D. Miller. 1998. Short term foraging ranges of adult green turtles (*Chelonia mydas*). **Journal of Herpetology**. 33(3): 330-337.
- Wikelski M, Gall B, Trillmich F. 1993. Ontogenetic changes in food intake and digestion rate of the herbivorous marine iguana (*Amblyrhynchus cristatus*, Bell). *Oecologia* 94: 373–379.

Anexo