# VARIABILIDAD ISOTÓPICA EN JUVENILES DE *Caretta caretta*, DISPUESTOS EN PROCESOS DE LEVANTE

**BRENDA NATASHA MEJÍA GUARNIZO**

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO**
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA**
**ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**
**PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA**
**SANTA MARTA**
**2021**

# VARIABILIDAD ISOTÓPICA EN JUVENILES DE *Caretta caretta*, DISPUESTOS EN PROCESOS DE LEVANTE

**BRENDA NATASHA MEJÍA GUARNIZO**

**Documento final del trabajo de formación para la investigación para optar al título de Bióloga marina**

**Directora**
**GUIOMAR AMINTA JÁUREGUI ROMERO**
**Magíster en Ciencias Ambientales**
**Directora del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM**

**Codirector**
**CARLOS JULIO POLO SILVA**
**Doctor en Ciencias Marinas y Limnología**

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO**
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA**
**ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**
**PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA**
**SANTA MARTA**
**2021**

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de los logros se los debo a ustedes, en los que incluyo este. Ustedes son mi inspiración para seguir adelante. Me formaron con ideas y experiencias, pero al final de cuentas, me motivaron con constancia para alcanzar mis anhelos. Gracias, madre y padre.

A mis hermanas, Vanesa y Sahori, por quererme y darnos apoyo mutuo cuando lo necesitamos. A toda mi familia que son lo más importante.

A mis amigos, que me acompañaron en este largo camino, gracias por el apoyo, las borracheras, las lloradas, las peleas y todos los momentos compartidos. A Rodasur y Brisa loca, los sitios de reunión y dispersión. Y también a mi gato Abichuelo Steven que llego este año a mi vida para estresarme, trayéndome cosas bonitas.

Un especial agradecimiento a la Universidad Jorge Tadeo Lozano y sus profesores, por brindarme el conocimiento y hacerme enamorar cada vez más de la Biología Marina. Al Programa de Conservación de Tortugas Marinas-ProCTMM por permitirme trabajar con las tortuguitas y contribuir un poquitico.

A mi directora Aminta Jáuregui, una mujer noble, gracias por confiar en mí y guiarme siempre. A mi codirector Carlos Polo por brindarme su ayuda y apoyo en este proyecto.

A cada persona que me ayudó tanto a nivel personal como académico, les agradezco.

Este esfuerzo también va dedicado a mi abuelita Elizabeth Salazar y su esposo Pedro Rivera, quienes siempre estuvieron pendientes de mí y me llamaban cada día, pero a quienes lastimosamente la COVID-19 también se llevó. Los amo y me llevo lo mejor de ustedes.

Buen viento y buena mar.

**CONTENIDO**

**Pág.**

1. INTRODUCCIÓN ..... 11

2. JUSTIFICACIÓN ..... 14

3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE ..... 16

3.1 MARCO TEÓRICO ..... 16

3.1.1 Generalidades y aspectos ecológicos de la tortuga caguama (*Caretta caretta*) 16

3.1.2 Los isótopos estables de $^{13}C$ y $^{15}N$ como herramienta en estudios de dieta ..... 19

3.1.3 Levante de juveniles y uso de los isótopos en estudios de dieta ..... 22

3.2 ANTECEDENTES O ESTADO DEL ARTE ..... 24

3.2.1 Hábitos alimentarios de las tortugas marinas ..... 24

3.2.2 Isótopos estables en tortugas marinas ..... 25

3.2.3 Estudios de tortugas marinas en el Caribe Colombiano ..... 29

4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS ..... 31

4.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA ..... 31

4.2 OBJETIVOS ..... 31

4.2.1 Objetivo general ..... 31

4.2.2 Objetivos específicos ..... 32

4.3 HIPÓTESIS ..... 32

4.3.1. Hipótesis general: ..... 32

4.3.2. Hipótesis sobre asimilación isotópica entre dieta suministrada vs. origen nidada ..... 33

4.3.3. Hipótesis sobre asimilación isotópica en clases de talla ..... 33

5. METODOLOGÍA ..... 34

5.1 ÁREA DE ESTUDIO ..... 34

5.2 OBTENCIÓN DE MUESTRAS ..... 35

5.3 ACTIVIDADES A DESARROLLADAS ..... 37

5.3.1 Procesamiento de las muestras para isótopos ..... 37

5.3.2 Análisis de isótopos estables ..... 39

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 42

6.1 VARIACIÓN ISOTÓPICA DE *Careta caretta* ENTRE GRUPOS (NIDOS) ..... 42

6.1.1 Amplitud y traslapo de nicho ..... 48

6.2 VARIACIÓN ISOTÓPICA DEL TEJIDO ÓSEO DE *C. caretta* POR TALLAS ..... 52

7. CONCLUSIONES ..... 60

8. RECOMENDACIONES ..... 61

9. BIBLIOGRAFÍA ..... 62

ANEXOS ..... 73

Anexo 1. Datos de valores isotópicos obtenidos por los ocho grupos (nidos provenientes de las playas de anidación de los sectores Los Cocos-Mendihuaca-Guachaca-Don Diego, región de Santa Marta, Colombia) a partir del tejido hueso de tortuga caguama (*Caretta Caretta*) con su respectiva Longitud ancha del caparazón (LCR) y Peso (g). Cada fila pertenece a un individuo, y en la primera columna se indica a que grupo de nido pertenece. ..... 73

Anexo 2. Datos de valores isotópicos obtenidos para los seis grupos de tallas a partir del tejido óseo de tortuga caguama (*Caretta caretta*) con su respectiva Longitud ancha del caparazón (LCR) y Peso (g). Cada fila pertenece a un individuo, y en la primera columna se indica a qué grupo de talla pertenece. ..... 75

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Claves identificación de la tortuga caguama *Caretta caretta* (Wyneken, 2001). 16

**Figura 2.** Ciclo de vida de las tortugas marinas durante el cual habitan diferentes hábitats y realizan extensas migraciones para su reproducción y alimentación. Las flechas rosas representan las migraciones que realizan las hembras cada dos o cuatro años entre las zonas. ..... 17

**Figura 3.** Mapa global de las diez subpoblaciones y zonas de anidación de *Caretta caretta* (Wallace *et al.,* 2010). ..... 18

**Figura 4.** Enriquecimiento de los isótopos de $^{13}C$ y $^{15}N$ a través de la cadena trófica, debido a la excreción o respiración preferencial de los isótopos que son más ligeros (izquierda). Representación gráfica del comportamiento de los valores de isótopos estables. ..... 21

**Figura 5.** Ubicación geográfica de las playas de anidación en los Sectores Los Cocos-Mendiguaca – Guachaca-Don Diego, región de Santa Marta, departamento del Magdalena, Caribe colombiano. En la imagen superior izquierda se muestra la localización de la región de estudio (Santa Marta). Mapa elaborado por María José Nariño (2020). ..... 34

**Figura 6.** Instalaciones en el Acuario Mundo Marino en el Rodadero (Santa Marta) donde el Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM realiza el cuidado y alimentación de las tortugas (neonatos y juveniles). A) Tanque con sistema de recirculación y filtración externa, B) Un espécimen de tortuga caguama *Caretta caretta*, C) Sistema anexo central del Tortugario. ..... 36

**Figura 7.** Proceso de alimentación *Ad libitum* de las tortugas marinas dos veces al día en las instalaciones del Acuario Mundo Marino en el Rodadero (Santa Marta, Caribe colombiano). ..... 36

**Figura 8.** Ubicación a nivel ventral de las muestras de tejido óseo de tortugas marinas extraídas a partir de necropsia, correspondientes al proceso acromio y hueso coracoides. Tomado y modificado de: Wyneken (2004). ..... 37

**Figura 9**. Muestras de tejido óseo almacenadas en tubo eppendorf (izquierda). Proceso de maceración manual de cada una de las muestras para poder pesar y almacenar en el trial (derecha). ..... 38

**Figura 10.** Proceso de agregar ácido clorhídrico (HCl) a las muestras óseas de tortuga caguama para la desmineralización del hueso y liberar el colágeno (izquierda). Diferentes lavados con cloroformo:metanol:agua para limpiar impurezas en la centrifuga (derecha).39

**Figura 11.** Distribución de los valores isotópicos de los individuos de la tortuga caguama *Caretta caretta* para cada grupo, indicando los valores promedio con su desviación estándar obtenidos. ..... 44

**Figura 12.** Comparación de señales isotópicas (promedio ± DE) de cada grupo de tortuga caguama (*Caretta caretta*) colectadas en los sectores Los Cocos-Mendihuaca-Guachaca-Don Diego, región de Santa Marta (Caribe colombiano). ..... 45

**Figura 13.** Boxplot referente a los valores residuales de los isótopos de nitrógeno (Figura a) y carbono (Figura b) para los ocho grupos de tortugas caguama (*Caretta caretta*) en el programa de levante del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM.. 47

**Figura 14.** Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para el isótopo de nitrógeno entre los ocho grupos de tortugas caguama (*Caretta caretta*) en el programa de levante del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM. La primera columna indica el número de los grupos que se están comparando y la última columna indica el valor *p* de la comparación estadística. Los grupos señalados en el cuadro rojo son los que presentaron las diferencias. ..... 47

**Figura 15.** Elipses de los valores de isótopos para los ocho grupos correspondientes a la amplitud de los ocho nidos de tortuga caguama (*Caretta caretta*) durante la alimentación en levante del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM..... 49

**Figura 16.** Distribución de tallas de las tortugas caguama (*Caretta caretta*) muestreadas en el ProCTMM y provenientes de la región de Santa Marta (Caribe colombiano), para análisis isotópico del tejido óseo..... 52

**Figura 17.** $\delta^{15}$N promedio en ‰ para el tejido óseo de los diferentes grupos de tallas de tortugas caguama (*Caretta caretta*) muestreadas en el ProCTMM y provenientes de la región de Santa Marta (Caribe colombiano)..... 53

**Figura 18.** $\delta^{13}$C promedio en ‰ para el tejido óseo de los diferentes grupos de tallas de tortuga caguama (*Caretta caretta*) muestreadas en el Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM y provenientes de la región de Santa Marta (Caribe colombiano). ..... 53

## ÍNDICE DE TABLAS

**Pág.**

**Tabla 1.** Grupos escogidos para analizar las muestras de *Caretta caretta*, correspondientes a nidos de la etapa XI (2018). Cada grupo corresponde a un nido diferente. (*) Grupo que corresponde a las tortugas alimentadas en el Tortugario.....**¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 2.** Valores promedio de los isótopos de carbono y nitrógeno para cada grupo (lote) del tejido hueso de *Caretta caretta*. μ =promedio y DE= Desviación estándar. ..... 45

**Tabla 3.** Pruebas estadísticas realizadas para los grupos de cada isótopo, Shapiro-Wilk (normalidad), Levene (homocedasticidad) y ANOVA. Nivel de significancia del 5%. Ho= No existen diferencias significativas entre los nidos, Ha= Existen diferencias significativas .. 46

**Tabla 4.** Valores de amplitud de nicho en área (‰$^2$) de las elipses respecto a los valores isotópicos de cada grupo. SEA: Valor elipse amplitud (SEAc: Valor elipse corregida amplitud, TA: Valor área total amplitud). ..... 48

**Tabla 5.** Porcentaje de traslape de nicho entre los ocho nidos de tortugas *Caretta caretta* alimentadas en el programa de levante. ..... 50

**Tabla 6.** Pruebas estadísticas realizadas para las tallas (LCR) de cada isótopo, Shapiro-Wilk (normalidad), Levene (homocedasticidad) y ANOVA. Nivel de significancia del 5%. Ho= No existen diferencias significativas entre los nidos, Ha= Existen diferencias significativas ..... 54

## RESUMEN

Las tortugas marinas son organismos longevos y con ciclos de vida muy complejos, debido a que son animales migratorios. En la actualidad, la tortuga caguama *Caretta caretta* se encuentra en estado Vulnerable (VU) según la UICN (2017), y En Peligro Crítico (CR) en Libro Rojo de Reptiles de Colombia (2015). Con el fin de evaluar la variación isotópica de carbono y nitrógeno en el tejido óseo de *C. caretta,* a partir de la misma dieta suministrada a juveniles en el programa de levante del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-ProCTMM, se tomaron 73 muestras de hueso a partir de necropsias y se realizó el procesamiento del tejido. El tejido óseo fue inicialmente desmineralizado con ácido clorhídrico (HCl) y luego con lavados para lípidos con cloroformo:metanol:agua; se maceró posteriormente pesando de 0,5 a 1 mg, y se guardó en cápsulas de estaño para su posterior análisis. Para evaluar la asimilación de la dieta proporcionada se determinaron las variaciones isotópicas entre los individuos de los ocho (8) grupos, correspondientes a distintos nidos de tortugas, al igual que para los grupos de intervalos de tallas (LCR). Los resultados mostraron que, aunque los ocho grupos de individuos de *C. caretta* fueron alimentados en las mismas condiciones (con la misma frecuencia y cantidad), existen variaciones entre estos en cuanto a la asimilación que tienen en su tejido óseo a nivel isotópico. Esto puede deberse a diversas razones como competencia por el alimento, eficiencia de asimilación del tejido, preferencia de recursos, características inherentes entre cada grupo, o incluso su tamaño (tallas). Los grupos 6, 7 y 8, exhibieron una amplitud de nicho >1 **‰²**, sugiriendo una dieta generalista (consumieron todos los ítems alimenticios proporcionados en el levante) y un sobrelapamiento de nicho > 70% sobre los demás grupos; mientras que otros los grupos 2 y 5, mostraron una amplitud de nicho muy baja < 0,3 **‰ ²** (dieta especialista) y un sobrelapamiento casi nulo. Para la comparación entre tallas, los individuos de *C. caretta* no mostraron diferencias significativas en los valores isotópicos asimilados entre ellos, ni alguna correlación entre la talla y el valor isotópico. Este estudio se adelantó en condiciones de cautiverio, y, por tanto, podrían extrapolarse a las colonias naturales para entender sus tasas de asimilación de alimentos. Lo anterior resalta la aplicabilidad de llevar a cabo estudios en cautiverio con nuevas herramientas como los isótopos estables, para comprender por ejemplo la asimilación de la dieta en los tejidos de *C. caretta*. De esta manera, se contribuye a la mejora en estrategias de programas de manejo y conservación de tortugas marinas, particularmente en metodologías de levante en cautiverio.



**PALABRAS CLAVE:** Isótopos estables, *Caretta caretta*, levante, nidos, talla.

## ABSTRACT

Sea turtles are long-lived organisms with very complex life cycles because they are migratory animals. Currently, the loggerhead turtle *Caretta caretta* is in a Vulnerable (VU) status according to the IUCN (2017), and Critically Endangered (CR) in the Red Book of Reptiles of Colombia (2015). To evaluate the isotopic variation of carbon and nitrogen in the bone tissue of *C. caretta*, from the diet supplied (the same for all) in the lifting program of the Sea Turtle Conservation Program (Programa de Conservación de Tortugas y Mamíferos Marinos-PROCTMM for its name in Spanish), 73 bone samples were collected from necropsies. Bone tissue was processed as follows: an initial demineralizing with HCl, a posterior lipid wash using chloroform:methanol:water, later a sample maceration and finally a weighing 0.5 to 1 mg to be stored in tin capsules for analysis. To evaluate the assimilation of the diet provided, the isotopic variations between the individuals of the eight (8) groups, corresponding to different turtle nests, were determined, as well as for the groups of length intervals (LCR). The results showed that, although the eight groups of individuals of *C. caretta* were fed under the same conditions (with the same frequency and quantity), there are variations between them in terms of the assimilation they have in their bone tissue at the isotopic level. This can be due to various reasons such as competition for food, tissue assimilation efficiency, resource preference, inherent characteristics between each group, or even sizes. Groups 6, 7 and 8, exhibited a niche width > 1 $‰^2$, suggesting a general diet (they consumed everything that was given to them in the lift) and a niche overlap > 70% over the other groups, while other groups 2 and 5 showed a very low niche width <0.3 $‰^2$ and almost zero overlap. For the comparison between lengths, the individuals of *C. caretta* did not show significant differences in the assimilated isotopic values between them, nor any correlation between the length and the isotopic value. This study was carried out under conditions of captivity, and, therefore, could be extrapolated to natural colonies to understand their rates of food assimilation. The foregoing highlights the applicability of carrying out studies in captivity with new tools such as stable isotopes, to understand, for example, the assimilation of diet in *C. caretta* tissues. In light of this, it contributes to the improvement in strategies of programs for the management and conservation of sea turtles, particularly in methodologies for raising in captivity.



**KEYWORDS**: Stable isotopes, *Caretta caretta*, Headstarting nests, size.

# 1. INTRODUCCIÓN

Las tortugas marinas son organismos que presentan gran longevidad, y que, durante su lento crecimiento, evidencian un ciclo de vida que contempla filopatría natal, flujo de genes mediado por machos, migraciones de larga distancia, entre otras, generando patrones complejos de estructura poblacional (Wallace *et al.,* 2010). Las tortugas marinas se distribuyen en una amplia variedad de ecosistemas, habitando en casi todas las cuencas oceánicas (Eckert *et al.*, 2000). La tortuga caguama, *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) es una especie que se encuentra a nivel mundial en zonas tropicales y subtropicales, anidando en líneas costeras cercanas a corrientes cálidas y realizando extensas migraciones para su reproducción y alimentación. En Colombia anidan sobre sus dos costas Caribe y Pacífico, presentando diferencias en varios de sus comportamientos reproductivos y/o alimentarios (Eckert *et al.*, 2000; León y Björndal, 2002).

Si bien las migraciones que realizan las tortugas marinas para la reproducción entre los sitios de alimentación y de anidación han sido documentadas ampliamente, refiriéndose a grandes travesías de miles de kilómetros durante este recorrido (Forbes, 2000), recientemente se ha ido complementando y ampliando su conocimiento, debido a distintos usos de herramientas modernas como los isótopos estables, ya sea en estudios de dietas o ecología trófica de los organismos tales como discriminación isotópica y tasas de recambio (Seminoff *et al.*, 2002; Reich *et al.,* 2008).

La técnica de isótopos estables también puede aplicarse a especímenes en condiciones de cautiverio, aunque su uso no ha sido frecuente, como un paso importante para realizar estudios en la asimilación de las dietas durante procesos de levante. Es necesario obtener más datos experimentales para interpretar toda la información existente sobre la composición isotópica de los tejidos animales, y para determinar cómo esta composición se relaciona con los constituyentes dietéticos del animal (Gannes, O'Brien y Del Rio, 1997). Estudios aplicados a la técnica de isótopos estables también arrojarán luz sobre cómo los animales asignan nutrientes y componentes de nutrientes a diferentes tejidos, que es una cuestión de "larga data" en fisiología ecológica (Sibly y Calow, 1986).

Diferentes procedimientos como la recolecta de una pequeña biopsia o frotis representan información relevante que se puede adquirir al identificar la “firma genética” de los especímenes (Seminoff *et al.*, 2002), además de otros como la preservación de un ejemplar muerto o microbiopsias para su posterior análisis isotópico. Los estudios de isótopos estables ofrecen una alternativa poderosa y práctica a los análisis del contenido del estómago. El análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno permite investigar los hábitos alimentarios utilizando pequeñas muestras de tejido recogidas de animales vivos o muertos (Kelly, 2000; Post, 2002). Esta técnica se basa en el hecho de que el carbono y el nitrógeno en el cuerpo de un animal provienen directamente de los alimentos que consume y, por lo tanto, la composición isotópica de un organismo refleja la de sus recursos alimenticios. De esta manera es posible determinar a partir de sus dietas, cuál tipo de alimento o presa está aportando en mayor cantidad a sus tejidos a nivel isotópico o que está consumiendo con mayor frecuencia para asimilación de estos en sus tejidos (Alcorlo *et al.,* 2008).

Trabajos realizados por los estudiantes del Programa de Biología Marina de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UTADEO) en los últimos años sobre *C. caretta* abordando diferentes temas como la variabilidad genética (Hernández, 2015; Quintero, 2015; Lozano 2018), así como otros estudios sobre dietas en las tortugas en el programa de levante, como los de Monterrosa y Salazar (2005) y Pabón-Aldana *et al.* (2012), han brindado información importante para la conservación de estas especies a nivel de programas de conservación de tortugas marinas más eficientes; sin embargo, falta aún mucho más por investigar y abarcar en este tipo de temáticas.

Los programas de conservación y centros de investigación que albergan tortugas marinas como la tortuga carey (*Eretmochelys Imbricata*), golfina *Lepidochelys olivácea*), caguama (*C. caretta*), y verde (*Chelonia mydas*), han alimentado a las tortugas con dietas a base de músculo de pescado (Pelegrín y Fraga, 2002), pescado fresco, verduras, plantas rastreras de playa, macroalgas o calamar (Moein *et al.,* 2003). Estos alimentos, también han sido aplicadas de manera similar a especímenes de *C. caretta* en el Programa de Conservación de Tortugas Marinas (ProCTMM), lo que sería interesante de ser observado por medio de otra técnica más moderna como el uso de isotopos estables, en aras de evidenciar que se

está asimilando o si, por el contrario, aún hay señales maternas de la alimentación del medio natural, durante esos meses.

Cabe resaltar, que realmente este tipo de técnica no ha sido empleada de manera frecuente para realizar este tipo de estudios teniendo el enfoque dietario en un programa de levante, puesto que su uso es más común para estimaciones de ecología trófica. Sin embargo, es un nuevo campo por explorar y puede arrojar resultados importantes de la biología de las especies y sus programas de conservación. Por tanto, este es el primer estudio realizado en Colombia utilizando la técnica de isótopos estables con enfoque a un estudio de dietas en un programa de levante, el cual resalta la importancia de su aplicación para entender la asimilación de la dieta de *C. caretta*.

En el presente estudio, se pretende evaluar la variabilidad isotópica de carbono ($\delta^{13}C$) y nitrógeno ($\delta^{15}N$) en juveniles de tortuga caguama (*C. caretta*), a partir de muestras de ocho nidos de las playas de anidación de los sectores Los Cocos-Mendihuaca-Guachaca-Don Diego, región de Santa Marta. Estos nidos fueron trasladados a las instalaciones de ProCTMM para ser parte del programa de levante y de esta manera, determinar los valores que le están aportando isotópicamente los diferentes tipos de alimentos a *C. caretta*, como resultado de la alimentación en los procesos de levante en el ProCTMM, en procura de generar información relevante para la implementación de estrategias de conservación más eficientes, en torno a esta especie, como la tasa de asimilación de los ítems alimenticios. Esta investigación se desarrolla en el marco del ProCTMM y es una investigación que hace parte del grupo de Investigación Dinámica y Manejo de Ecosistemas Marino-Costeros (DIMARCO) Categoría A1 de Colciencias/Minciencias, contando para ello con el aval de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG). Este proyecto se adelanta como requisito para optar al título de Bióloga Marina de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, como parte del proyecto de convocatoria interna titulado “ANÁLISIS ISOTÓPICO Y EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA DE LA TORTUGA CAGUAMA (*Caretta caretta*), DISPUESTAS A PROCESOS DE LEVANTE E INTRODUCCIÓN EN EL CARIBE COLOMBIANO, ETAPA II”.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La tortuga caguama *Caretta caretta*, es una especie protegida a nivel mundial, debido a su categorización según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) que refleja su estado de conservación actual. Esta especie se encuentra en estado vulnerable (VU) (Casale y Tucker, 2017), basándose en criterios como el tamaño de las poblaciones, tendencias poblacionales, extensión de presencia y la probabilidad de extinción en el medio natural (Casale y Tucker, 2017). Se estima que más de 10.000 tortugas por año se han capturado en décadas recientes en la región del Gran Caribe (Trujillo-Arias *et al.,* 2014), lo que ha ocasionado que muchas colonias anidantes estén gravemente reducidas como resultado de esa explotación (Bowen y Karl, 2007). A su vez, en la última versión del "Libro Rojo de Reptiles de Colombia" de Morales-Betancourt *et al.* (2015), también se incluye a *C. caretta* como una especie "En Peligro Crítico" (CR), con el objeto de servir como herramienta de consulta nacional para la toma de decisiones en la gestión ambiental.

Frente a la drástica reducción global de *C. caretta*, es necesario llevar a cabo estudios que brinden información y comprensión de aspectos claves sobre su biología. 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). El estudio que aquí se presenta, genera información a este pequeño porcentaje del ciclo de vida de la tortuga caguama, puesto que las muestras a trabajar hacen parte de especímenes que no estaban en vía libre sino en condiciones de cautiverio del programa de conservación; aun así, representa un estudio complementario a los que se vienen haciendo de manera típica en estos programas.

Es clave resaltar el uso de herramientas con gran impacto en la actualidad como la de isótopos estables, que proporciona información relevante sobre la ecología alimentaria de los organismos, constituye una técnica muy útil usada para elaborar descripciones ecológicas en una gran cantidad de organismos y sus dietas, con una aplicabilidad reciente

en tortugas marinas (Bowen *et al.,* 2007; Trujillo-Arias *et al.,* 2014). Estudiar el aporte isotópico que reciben con más frecuencia en sus tejidos las tortugas según la dieta consumida, ya sea en el medio natural o suministrada en procesos de levante, ayuda a la mejor comprensión de sus formas de asimilación alimentaria (Barnes *et al.,* 2008).

Colombia cuenta con instrumentos jurídicos nacionales que soportan la protección y conservación de las tortugas marinas, además de algunos planes de manejo y estudios que se han elaborado en los últimos 30 años a nivel regional y nacional como el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811 de 1974), la Reglamentación del Código mencionado en materia de fauna silvestre (Decreto 1608 de 1978), y varias Resoluciones como la No. 157 de 1993 que prohíbe el aprovechamiento de tortugas marinas provenientes de capturas incidentales y establece la obligatoriedad en el uso de los dispositivos excluidores de tortugas marinas (DET). El Ministerio del Medio Ambiente, publicó el "Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Continentales y Marinas en Colombia", el cual fue presentado y concertado en el "I Taller Nacional sobre Manejo y Conservación de las Tortugas Marinas y Continentales realizado en noviembre de 2001", en Dibulla, La Guajira (MNA, 2002).

Al profundizar mejor en la biología y estado de las poblaciones de esta especie de tortugas marinas en la región de Santa Marta, se tiene un estudio complementario para contribuir a la generación de estrategias de conservación más precisas y con información reciente de *C. caretta* en Colombia. De esta manera, se resalta la importancia de trabajos con isótopos estables que sirvan como base para dar a conocer la eficiencia de asimilación de dietas suministradas durante procesos de levante, y las variaciones que ocurren en estas dietas, se abre paso a investigaciones pioneras y más completas de estos organismos, sobre todo para generar información relevante para procesos de manejo y conservación de tortugas *ex-situ*.

# 3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

## 3.1 MARCO TEÓRICO

### 3.1.1 Generalidades y aspectos ecológicos de la tortuga caguama (*Caretta caretta*)

Existen siete especies de tortugas marinas distribuidas en dos familias Cheloniidae y Dermochelyidae, la mayoría pertenece a la primera familia como lo son la tortuga caguama (*C. caretta*), verde (*C. mydas*), carey (*E. imbricata*), lora (*Lepidochelys kempii*), golfina (*L. olivacea*), aplanada (*Natator depressus*) y la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) que es la única que hace parte de Dermochelyidae (Seminoff *et al.*, 2002; Talavera, 2016). La tortuga caguama en particular presenta dos pares de escamas prefrontales y, cuando son jóvenes, tienen quillas en las conchas. Se caracteriza por tener la cabeza grande y el caparazón marrón, con cinco escudos pleurales y cinco (o a veces cuatro) escudos laterales. El escudo nucal toca al primer escudo lateral (Figura 1). La cabeza y aletas están cubiertas por escamas córneas y no son retráctiles en el caparazón.

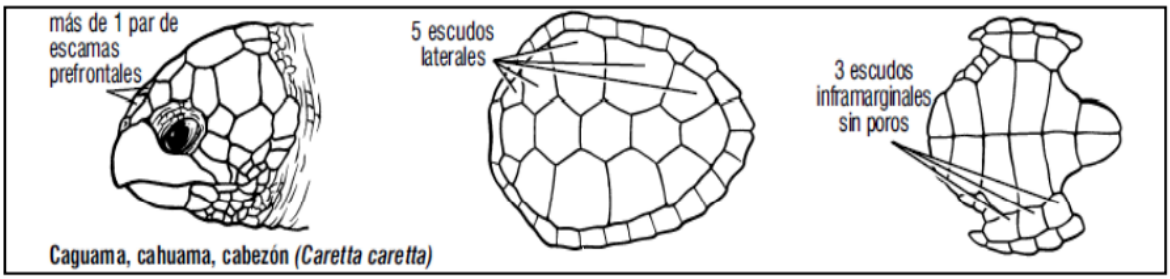


**Figura 1.** Claves identificación de la tortuga caguama *Caretta caretta* (Wyneken, 2001).

**Figura 2.** Ciclo de vida de las tortugas marinas durante el cual habitan diferentes hábitats y realizan extensas migraciones para su reproducción y alimentación. Las flechas rosas representan las migraciones que realizan las hembras cada dos o cuatro años entre las zonas.

Debido a que la naturaleza de las tortugas marinas es altamente migratoria (Figura 2), se requieren de cooperación y gran variedad de estrategias para garantizar su sobrevivencia. Las hembras migran desde aéreas de alimentación a sus playas natales, cada dos a cuatro años y presentan un alto grado de fidelidad al sitio de anidación o filopatría natal (Miller, 1997). Específicamente, las tortugas caguama ponen sus nidos en playas arenosas insulares o continentales a lo largo de las regiones templadas y subtropicales del mundo. Como son muy migratorias utilizan una amplia distribución de localidades y hábitats muy distanciados, durante sus etapas de vida (Bolten y Withrington, 2003). Cuando los huevos eclosionan, las crías se dirigen al mar para empezar su fase oceánica en el hábitat pelágico, dejándose llevar por los principales sistemas de corrientes o giros que sirven como base para el desarrollo en mar abierto. Después de 4-19 años en la zona oceánica, las tortugas se desplazan a las áreas de desarrollo neríticas ricas en presas bentónicas y epipelágicas, donde se alimentan y crecen hasta alcanzar la madurez a los 10-39 años (Casale y Tucker, 2015).

La población global de la tortuga caguama (*C. caretta*) comprende diez subpoblaciones que varían ampliamente en el tamaño de población, el ámbito geográfico y las tendencias demográficas distribuyéndose a nivel mundial en todas las regiones subtropicales y templadas del Mar Mediterráneo y los Océanos Pacífico, Índico y Atlántico (Wallace *et al.* 2010). El en mapa (Figura 3) se muestra la distribución geográfica de las diez RMUs (Units for Marine Turtles) y las zonas de anidación de *C. caretta* según la IUCN.

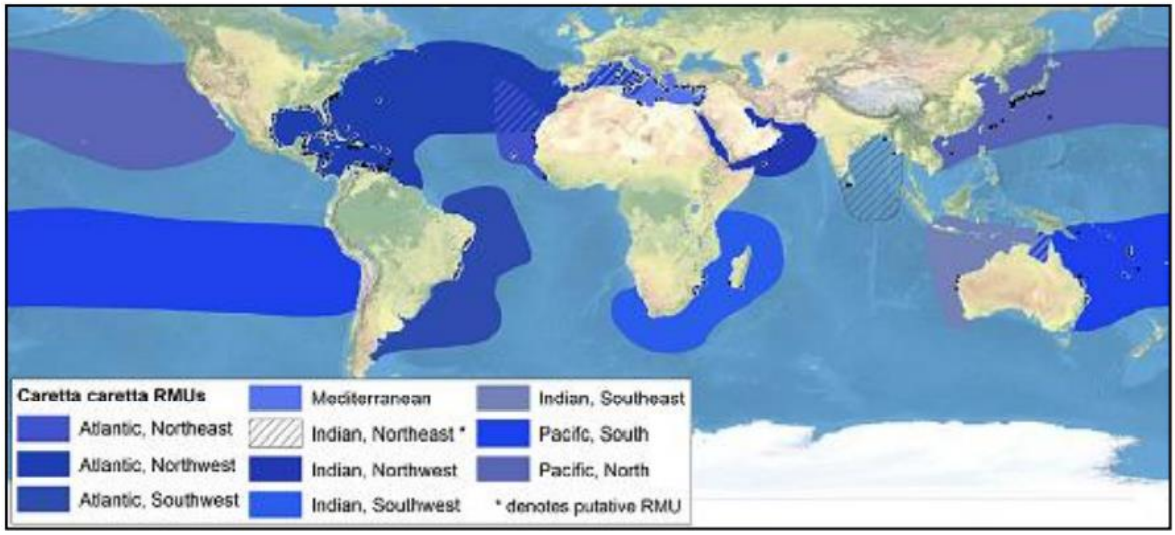


**Figura 3.** Mapa global de las diez subpoblaciones y zonas de anidación de *Caretta caretta* (Wallace *et al.,* 2010).

*C. caretta* tiene un hábitat pelágico similar a la tortuga verde (*C. mydas*) durante los primeros años de vida, es decir, flota en nudos de *Sargassum* en mar abierto (Talavera, 2016). Al alcanzar entre 40 cm (en el Atlántico) y 80 cm (Australia) de largo de caparazón, se desplazan a aguas menos profundas para alimentarse tanto en suelos blandos como duros (Trujillo-Arias *et al.*, 2014). La alimentación en estos hábitats bentónicos incluye una alta variedad de especies de invertebrados y plantas tales como cangrejos, bivalvos, anémonas, moluscos, caballitos de mar, peces, camarones, algas y plantas marinas (Bjorndal, 1997).

La reproducción de *C. caretta* es estacional ocurriendo a final de primavera y verano en las playas (Godley *et al.,* 2002). Los apareamientos se suelen producir cerca de las playas de anidación y especialmente al principio de la temporada de puesta. Es frecuente la poliandria, la multipaternidad y el almacenamiento de esperma (Chillón, 2016). Las hembras se reproducen cada dos o tres años y en cada estación reproductora pueden realizar entre tres y seis nidos consecutivos cada 14 - 18 días (Miller, 1997). Las hembras excavan nidos de unos 50 cm de profundidad en los que depositan entre 70 y 120 huevos blancos de cáscara apergaminada con una alta tasa de fecundación (Putman *et al.,* 2014). La incubación suele durar algo menos de dos meses. La determinación sexual depende de la temperatura en el tercio medio de la incubación con una temperatura pivotal (temperatura a la cual cada embrión tiene igual probabilidad de tornarse macho o hembra) de unos 29ºC y una razón de sexos normalmente sesgada hacia las hembras (Mrosovsky, 1988) dentro de un rango de tolerancia de 25-35ºC (Ackerman, 1997).

Los huevos y carne de la tortuga caguama han sido utilizados como fuente de proteína para alimentación humana, mientras que el caparazón y su piel para producir artesanías (Franco y Hernández, 2017). Esta explotación se efectúa principalmente con hembras anidantes en las playas y también de juveniles y adultos en las áreas de forrajeo y reproducción en el océano (Seminoff *et al.*, 2009). Actividades antrópicas sumadas a la dinámica oceanográfica de las costas, son las principales causas del riesgo de extinción en el que se encuentra actualmente la tortuga caguama según la IUCN (2014).

### 3.1.2 Los isótopos estables de $^{13}C$ y $^{15}N$ como herramienta en estudios de dieta

Los isótopos estables, se encuentran naturalmente en el ambiente, y su abundancia varía geográficamente. Un individuo al ingerir alimento asimila las proporciones isotópicas del ambiente donde se alimenta y del organismo que consume (conocido como firma isotópica), lo que se ve reflejado en la asimilación de sus tejidos (Alves-Stanley y Worthy, 2009). Básicamente, esta técnica se explica en que las señales isotópicas de las presas se vean reflejadas en los consumidores, ya que se transmiten a lo largo de la cadena trófica desde los productores primarios hasta los grandes depredadores, permitiendo identificar los hábitos alimenticios de los organismos de estudio (Schoeninger y DeNiro, 1984; Talavera,

2016). Para detectar la contribución de las posibles fuentes de alimento en la dieta de un organismo, sólo se necesita que los ítems alimentarios puedan ser distinguidos isotópicamente y se conozca el cambio en la proporción isotópica entre los consumidores y sus presas (Schoeninger y DeNiro, 1984; Martínez del Rio *et al.*, 2009). La técnica de isótopos estables tiene ciertas ventajas con respecto a los análisis tradicionales de la dieta, tales como lavados o análisis de contenido estomacal, ya que permite conocer que lo consumido realmente ha sido asimilado por el organismo, y permite hacer una descripción de los nutrientes asimilados por largos periodos de tiempo, dependiendo del tejido analizado (Cardona *et al.,* 2010).

A partir de los valores de $^{13}C$ se pueden conocer las fuentes de materia orgánica, y con el $^{15}N$ se reconoce la posición trófica que ocupan los distintos organismos dentro de los ecosistemas (Alves-Stanley y Worthy, 2009). En tortugas marinas, las señales isotópicas se pueden registrar en diferentes tipos de tejido como caparazón, músculo, grasa, hueso y sangre, lo que va a posibilitar una evaluación más precisa del nivel trófico, así como del origen de la materia orgánica y la distribución de las presas, revelando como es el movimiento de los organismos en los ecosistemas (Godley *et al.,* 1998; Talavera, 2016). En el caso del carbono, debido a que la fracción isotópica eta influenciada por la pérdida de $CO_2$ en la respiración, se va a presentar una disminución en los valores de $^{13}C$, mientras que en el caso específico del $^{15}N$, existe una bioacumulación en el tejido entre el consumidor y su dieta (Kelly, 2000).

La utilización de isótopos estables ha permitido identificar diferencias entre poblaciones de juveniles, en relación con el cambio ontogénico en la alimentación (Martínez del Rio *et al.*, 2009). En lo que respecta a las tortugas verdes y otras especies en el Caribe y de Australia, se sugiere que una vez que ocurre el cambio en la dieta, los invertebrados son reemplazados por el consumo de macrófitas o pastos marinos (Talavera, 2016). Sin embargo, en poblaciones de juveniles del Mediterráneo y del sureste del Atlántico, se ha encontrado que sus hábitos no son estrictamente herbívoros y que el cambio en la alimentación se da de manera gradual (Cardona *et al.*, 2010).

El enriquecimiento isotópico tiene lugar por varios mecanismos (Figura 4), aunque aún no son muy claros. Este enriquecimiento depende de la asimilación diferencial de los diferentes

componentes bioquímicos de la dieta y las diferentes actividades metabólicas, que posteriormente va a resultar en la excreción de los isótopos más livianos primero, dejando a los más pesados ($^{13}C$ y $^{15}N$) acumulados en lo tejido en el organismo (Peterson *et al.,* 1985). Esta discriminación de los isótopos también puede verse afectada por otros factores como la edad del organismo, el estatus nutricional, estrategia digestiva y la calidad del alimento, ya sea en el medio natural o el suministrado en dieta artificiales (Alves-Staley y Worthy, 2009).

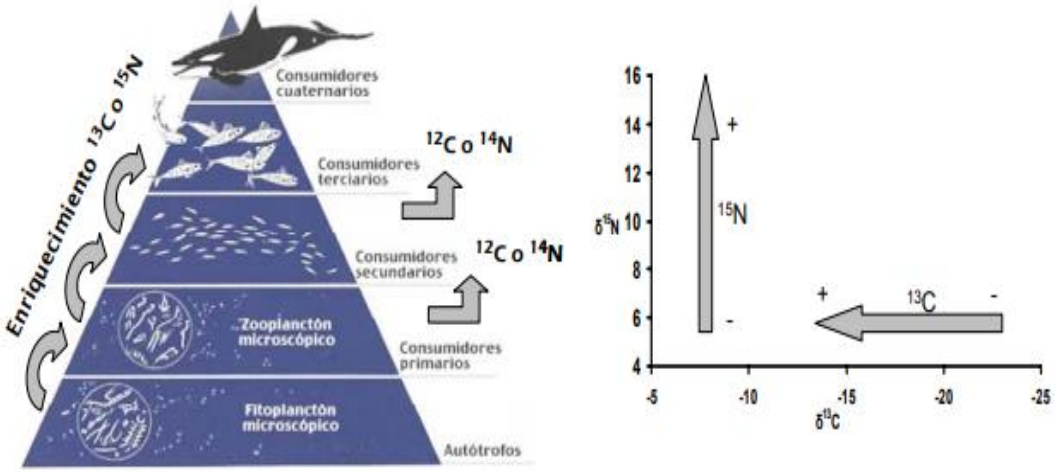


**Figura 4.** Enriquecimiento de los isótopos de $^{13}C$ y $^{15}N$ a través de la cadena trófica, debido a la excreción o respiración preferencial de los isótopos que son más ligeros (izquierda). Representación gráfica del comportamiento de los valores de isótopos estables.

Una ventaja de la técnica de isótopos estables es el tiempo de integración de la dieta que proporciona un análisis en diferentes tipos de tejidos con distintas tasas metabólicas, sabiendo de manera indirecta cuáles fueron los componentes de la dieta a lo largo de un tiempo determinado (Newsome *et al.,* 2007). Reconociendo esta ventaja, se ha utilizado la técnica de isótopos estables para analizar la ecología trófica de algunas especies de tortugas marinas. Por ejemplo, el análisis de las proporciones de isótopos estables se ha utilizado en las tortugas marinas para describir desde la variación de forrajeo entre los individuos (Reich *et al.,* 2007), dentro de (Hatase *et al.,* 2002, Hatase *et al.,* 2006, Caut *et al.,* 2008) y entre etapas de vida (Arthur *et al.,* 2008), entre poblaciones (Wallace *et al.,* 2006) y entre especies (Godley *et al.,* 1998) de tortugas marinas silvestres. Específicamente, las proporciones de isótopos estables de nitrógeno ($^{15}N$: $^{14}N$ ó $\delta^{15}N$) y

carbono ($^{13}C$: $^{12}C$ ó $\delta^{13}C$) se utilizan a menudo como indicadores del nivel trófico y la ubicación de alimentación de los consumidores, respectivamente (DeNiro y Epstein, 1981; Minagawa y Wada, 1984; Hobson, 1999) o como complemento de otros estudios como migraciones satelitales (McClellan *et al.,* 2010). Es muy poco el uso que se le ha dado para estudiar en condiciones de cautiverio.

Una fuente de variación en la composición isotópica estable de tejidos animales que recientemente ha recibido atención es la diferencia en valores isotópicos entre madres e hijos, que puede ser descrito por madre-descendencia factor de discriminación ($\Delta = \delta_{madre} - \delta_{descendiente}$) o por regresiones lineales entre la madre y los tejidos de la cría. Por lo tanto, los tejidos de la cría se derivan directamente de nutrientes maternos. Por esta razón, se espera que los valores isotópicos de la madre y la descendencia estén altamente correlacionados (Pilgrim, 2007) y así se ha comprobado en varios estudios (Hatase *et al.*, 2002; Caut *et al.,* 2008). Ninguno de los estudios hasta la fecha ha seguido los cambios en la composición isotópica estable a lo largo de todo el proceso de desarrollo, desde las madres hasta los huevos y las crías.

### 3.1.3 Levante de juveniles y uso de los isótopos en estudios de dieta

El levante o *headstarting,* es una estrategia de recuperación para poblaciones de tortugas marinas donde los neonatos son mantenidos en cautiverio por períodos de unos pocos meses hasta alrededor de un año (Burke, 2015). Para ello, los nidos son transferidos desde playas de anidación hasta las condiciones controladas, o los neonatos son colectados al momento de la eclosión para su traslado a sistemas cerrados (Monterrosa y Salazar, 2005). La cría en cautiverio es una estrategia experimental de conservación que tiene como objetivo promover el reclutamiento de las poblaciones de tortugas marinas manteniéndolas, durante los primeros meses o años, hasta que alcancen un tamaño que les permita enfrentarse con éxito a las fuentes de mortalidad natural (Burke, 2015). Bajo cuidado humano, las tortugas tienen acceso a una mayor cantidad de alimento y de más alta calidad nutricional; además, gastan menos energía en enfrentarse a los depredadores, las olas o los cambios de temperatura (Burke, 2015). Esto conduce a tasas de crecimiento más rápidas y quizás a una edad más temprana de madurez sexual (Burke, 2015). Cuando los

ejemplares criados son introducidos al medio marino, a pesar de haber estado en contacto constante con sus cuidadores, muestran el comportamiento típico de las tortugas silvestres (Monterrosa y Salazar, 2005).

Estudios recientes de monitoreo por telemetría han demostrado que una vez introducidas al mar ejemplares de tortuga caguama y carey, pueden migrar hacia zonas de alimentación típicas, utilizando las rutas naturales (Monterrosa y Salazar, 2005; Bernal, 2012; Pabón-Aldana *et al.,* 2012). Además de promover la sobrevivencia en las etapas tempranas de la vida, el levante puede servir como mecanismo de sensibilización de las personas, especialmente entre los jóvenes, alrededor de los problemas ambientales y la importancia de la conservación de la biodiversidad (Monterrosa y Salazar, 2005). La alimentación de los especímenes constituye uno de los principales costos en este proceso. Idealmente, la dieta imitará a la presa natural y aportará los elementos nutricionales necesarios para un desarrollo corporal adecuado; por ejemplo, una dieta debe asegurar un funcionamiento fisiológico, una buena salud y las tasas de crecimiento suficientes para proporcionar una ventaja ambiental (Pelegrín y Fraga, 2002).

Para determinar la contribución de los ítems proporcionados en la dieta suministrada durante un proceso de levante, la técnica de isótopos estables resulta muy útil para hacer estimaciones cuantitativas de las fuentes dietéticas utilizando diferentes tejidos, usando factores de discriminación "específicos de tejido" apropiados para explicar las diferencias en los procesos metabólicos y biosintéticos. Estos factores de discriminación necesarios para estimar las fuentes de la dieta se basan en que los isotopos de $^{13}C$ y $^{15}N$ al entrar en el organismo se fraccionan durante el procesamiento biológico (por ejemplo, catabolismo, asimilación y eliminación), lo que da como resultado que los tejidos animales del consumidor tengan valores delta más altos que sus alimentos (McCutchan *et al.,* 2003). Estas diferencias entre los tejidos del consumidor y la dieta se denominan factores de discriminación trófica (Martínez del Rio, Wolf, and Carleton, 2009), normalmente se expresan con notación Δ ($\Delta^{15}N$ para nitrógeno y $\Delta^{13}C$ para carbono) y se definen como $\Delta X = \delta_{tejido} - \delta_{dieta}$. En la mayoría de los casos, los consumidores se enriquecen con el isótopo pesado ($^{13}C$ o $^{15}N$) en relación con sus presas (Newsome *et al.,* 2006). Para tejidos similares o cuerpos enteros, el enriquecimiento es aproximadamente 1 ‰ para el carbono y 3 ‰ para el nitrógeno. En el caso de los isótopos de nitrógeno, este fuerte enriquecimiento de $^{15}N$

con nivel trófico se ha atribuido a la excreción de desechos nitrogenados (por ejemplo, urea) que se enriquece en $^{14}N$ en relación con el cuerpo (Alves-Staley y Worthy, 2009). El enriquecimiento de nivel trófico en isótopos pesados se ha utilizado ampliamente para caracterizar las redes alimentarias terrestres y marinas y para determinar la(s) fuente(s) principal(es) de presas/forrajeras para carnívoros y herbívoros en diversos ecosistemas (Reich *et al.,* 2007).

## 3.2 ANTECEDENTES O ESTADO DEL ARTE

### 3.2.1 Hábitos alimentarios de las tortugas marinas

Los hábitos alimentarios de las tortugas marinas se han determinado por diversos métodos como: lavado o enjuague estomacal, observaciones en zonas de alimentación o forrajeo y la recolecta de fragmentos de comida de la boca de las tortugas capturadas en el mar, efectuando prospecciones directas bajo el agua o analizando muestras fecales (Forbes, 2000). Aun así, en la mayoría de los trabajos, el análisis de la dieta se ha hecho principalmente por lavados estomacales o por la observación directa de los individuos. Estos métodos tradicionales, proporcionan gran información a nivel taxonómico y sus resultados son considerados como una aproximación relativa, ya que impiden hacer inferencias precisas (Bowen *et al.*, 2007), puesto que únicamente representan el periodo entre la ingestión y la digestión del alimento, no permitiendo detectar patrones a nivel histórico.

Se ha sugerido que tortugas como la verde, podrían estar consumiendo material animal de manera frecuente, e inclusive, se ha llegado a proponer que algunas pudieran estar presentando más de una dieta carnívora que la normalmente herbívora (Seminoff *et al.,* 2002), ya que se ha evidenciado material animal en algunos contenidos estomacales tales como poliquetos, equinodermos, tunicados, esponjas, medusas y crustáceos (López-Mendilaharsu *et al.,* 2005; Seminoff *et al.,* 2006). No obstante, es posible que estos planteamientos no sean sustentados, y simplemente sea un comportamiento oportunista, que se da cuando no está la disponibilidad de alimento o se encuentra en bajas cantidades.

Teniendo en cuenta la composición específica de la dieta de las tortugas, se ha planteado en diferentes estudios que la selección de especies-presa, debe cubrir todos los requerimientos nutricionales y energéticos, así como adecuarse a la capacidad digestiva de los organismos (Villegas-Nava, 2006; Seminoff *et al.,* 2006). Al analizar químicamente algunas presas, se sugiere que esta selectividad podría tener una relación directa con la calidad de la presa, optimizando la toma de energía (Villegas-Nava, 2006). Sin embargo, se han observado otros aportes de presas que no son muy ricas en nutrientes ni en aporte energético, por lo que se deben tener en cuenta más aspectos para evaluar la selectividad que tienen las tortugas tales como la disponibilidad de los recursos, conducta, fisiología digestiva y cambios estacionales en la oferta de alimento (Bjorndal, 1997; Villegas-Nava, 2006).

Se ha propuesto la utilización de isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$) como una alternativa para describir relaciones tróficas (Peterson *et al.*, 1985; Crawford *et al.,* 2008). Considerados como trazadores biológicos (Rodríguez-Barón, 2010), los isótopos estables han sido empleados para la identificación de grupos de alimentación, en áreas específicas para la tortuga verde. Existen procesos que afectan las señales isotópicas de los productores primarios de cada región como la temperatura, desnitrificación, fijación de nitrógeno, entre otros (Montoya, 2007). De acuerdo con lo anterior, se sustenta el hecho de que la abundancia relativa de los isótopos estables en los tejidos de los animales está asociada a determinadas localidades geográficas (Rodríguez-Barón, 2010; Sánchez *et al*., 2013).

### 3.2.2 Isótopos estables en tortugas marinas

Los isótopos estables, han complementado la información que se tenía sobre algunos aspectos de la ecología de las tortugas marinas. Las investigaciones se han diversificado a través del tiempo y se han combinado con otras técnicas, para obtener resultados más precisos (Talavera, 2016). Por ejemplo, los estudios de posición trófica de las tortugas marinas han ido de simplemente corroborar el estatus trófico de diferentes especies (Godley *et al.,* 1998), hasta replantear la posición trófica de especies como la caguama (*C. caretta*) en el Mar Mediterráneo (Revelles *et al.*, 2007). Además, al emplear diversas técnicas se ha

podido determinar que la variación isotópica en hembras de diferentes sitios se debe a que se alimentan de varios organismos con posición trófica diferente, así como son reflejo de los lugares en donde se alimentan ya sea en las zonas costeras o el océano abierto (Vander-Zanden *et al.,* 2012).

Entre los primeros trabajos de isótopos estables en tortugas marinas, está el realizado por Godley *et al.* (1998), en donde determinaron el estatus trófico de tres especies del mar Mediterráneo (*C. caretta*, *D. coriácea* y *C. mydas*). Encontraron que *C. caretta* ocupa un lugar trófico más alto que *C. mydas*, mientras que *D. coriacea* ocupa una posición intermedia, lo cual coincidió con estudios previos de contenido estomacal para cada una de las especies (Broderick y Goldley, 1996; Bjorndal, 1997). En ese mismo estudio, se estimó la proporción en colágeno hueso de C y N, encontrando para la tortuga caguama (*C. caretta*) 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, para la tortuga verde no se cumplió esta relación.

Al incrementarse los trabajos de isótopos estables en tortugas marinas, fue necesario determinar factores específicos para estas especies esenciales para los estudios de ecología trófica como la diferencia isotópica entre un tejido específico del consumidor y la dieta (discriminación isotópica), y el tiempo que tardan los valores isotópicos de la dieta en verse reflejados en los tejidos del consumidor (tasa de recambio) de acuerdo con Seminoff *et al.* (2002). Se ha encontrado que los factores de discriminación isotópica en tortugas marinas varían entre especies, etapa de vida y tejidos (Seminoff *et al.*, 2009; Vander-Zanden *et al.*, 2012; Talavera, 2016). Asimismo, la tasa de recambio varía de acuerdo con el tipo de dieta, el tejido y etapa de vida (Reich *et al.,* 2008). Estas investigaciones, destacan la necesidad de generar información específica para cada grupo o taxón.

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 en ocasiones han llegado a delimitar, las áreas de alimentación (Garnett *et al.* 1985; Coyne, 1994). En algunos casos, se ha determinado el efecto que las características del hábitat, y

que sus recursos podrían estar teniendo incidencia tanto en la distribución de los individuos como en la elección de la dieta (Villegas-Nava, 2006**;** López-Mendilaharsu *et al.,* 2005).

Biasatti (2004), analizó los valores isotópicos del carbonato en huesos de tortugas marinas (*D. coriacea*, *L. olivacea* y *C. mydas*), encontrando que la dieta es la principal influencia en la composición isotópica en el tejido óseo. 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. Se encontró que para la tortuga laúd (*D. coriacea*) y golfina (*L. olivacea*), las señales en los tejidos son sumamente consistentes con los valores encontrados en sus recursos; mientras que en la tortuga verde (*C. mydas*), los procesos de respiración se presentaron como una influencia adicional a la dieta consumida, debido a la acumulación de $CO_2$ en la sangre durante el buceo y su posterior incorporación al carbonato de los huesos

Con el fin de poder interpretar de mejor manera los resultados de isótopos estables, 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 caguama (*C. caretta*). Los tejidos evidencian diferentes tasas metabólicas, incorporando los isótopos de sus dietas a diferentes tasas, por lo que cada uno mostró distintos tiempos de recambio. Los valores obtenidos, permitieron realizar una interpretación más adecuada de la dieta, y uso del hábitat sobre diversas escalas de tiempo. Estos valores, pueden únicamente obtenerse bajo condiciones controladas y nunca habían sido determinados para tortugas marinas. Los autores encontraron que la tasa de recambio para el tejido del caparazón (óseo) de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ en *C. caretta* cambia según el tipo de dieta que se está utilizando o consumiendo, De esta forma, cuando se utiliza una dieta con un valor isotópico bajo (principalmente soya = dieta 1), la tasa de recambio era entre los 11 a 57 días, mientras que con una dieta de un valor isotópico mayor (principalmente sardina = dieta 2) la tasa era entre 10 a 37 días, debido a que el tiempo de recambio se alcanza después de aproximadamente cuatro veces la vida media. El rango obtenido para cada tipo de dieta fue de 44 a 228 días en la dieta 1 y de 40 a 148 días en la dieta 2, mostrando que una dieta con un valor isotópico mayor tiene una tasa de recambio más rápida en el tejido.

Algunas otras investigaciones de isótopos estables desarrolladas han sido enfocadas a estudiar la relación entre las hembras de tortugas marinas y sus nidadas y neonatos. Por ejemplo, no se encontraron diferencias significativas en $^{13}C$ y $^{15}N$ entre las yemas de huevo de cuatro nidadas en serie de una sola tortuga caguama (Hatase *et al.,* 2002). Utilizando isótopos estables como trazadores dietéticos, se determinaron las características de las zonas de alimentación de las hembras caguama que anidan en la Guayana Francesa (Caut *et al.,* 2008). En este estudio, los valores de la yema de huevo y los isótopos en sangre están correlacionados en las hembras anidadoras, lo que indica que el análisis de huevos es una herramienta útil para evaluar los valores de isótopos en estas tortugas, incluidos los adultos cuando no están disponibles para muestrearlos (Caut *et al.,* 2008). Carpentier *et al.* 2015, evaluaron las relaciones de valores de isótopos estables de carbono y nitrógeno entre madres, y sus huevos y crías de tortugas *C. caretta* para evaluar la precisión del uso de huevos o las crías al inferir los valores de isótopos estables de las madres, encontrando que los valores reportados en los huevos correspondían al mismo de la madre, demostrando la utilidad del uso de los huevos para determinar la ecología trófica de las madres anidantes usando la técnica de isótopos estables.

McClellan *et al.* (2010), pudieron distinguir entre las tortugas caguama juveniles de la misma región geográfica que habían exhibido dos estrategias migratorias sobre la base de historias de remigración y composición de la dieta determinada, por proporciones de isótopos estables. Específicamente, demostraron que los individuos que usan hábitats de mar abierto tienen proporciones de isótopos de nitrógeno estables más bajos que los que permanecen dentro de áreas neríticas, lo que indica una dicotomía dietética.

Zbinden *et al.* (2011) encontraron que combinando el rastreo por satélite con firmas de isótopos estables en tortugas marinas se abren nuevas perspectivas sobre cómo se pueden utilizar las metodologías de seguimiento, y concluye que cuando este enfoque se pueda aplicar con éxito, ayudará a tomar estudios de telemetría más allá de los ámbitos de la descripción hacia la generación de una comprensión ecológica significativa de las especies y los hábitats en cuestión. A medida que se utilizan técnicas más integradas para desentrañar la conectividad, es más probable que se obtenga una comprensión adecuada del sistema migratorio (Godley *et al.,* 2010).

Con los trabajos enunciados anteriormente, se pueden dimensionar el estado del arte de la temática de isotopos estables en tortugas marinas, con aspectos y campos que están sin explorar todavía con esta herramienta.

### 3.2.3 Estudios de tortugas marinas en el Caribe Colombiano

En el país, los estudios con tortugas marinas se han desarrollado especialmente en la costa Caribe, dando especial énfasis en la caracterización de playas de anidación (Trujillo-Arias *et al.,* 2014). Aun así, el conocimiento sobre el estado de conservación de esas especies, su dinámica poblacional, historia de vida y amenazas es muy poco contemplado, junto con evaluaciones de sus áreas de alimentación que resultan más difíciles y costosas (Rincón *et al.,* 2001). La mayoría de los trabajos que se han adelantado en esta región han sido sobre la tortuga carey en el Caribe, y se han ejecutados en los Parques Nacionales Naturales (PNN) Tayrona, Corales del Rosario y San Bernardo, y en el Cabo de la Vela, Isla Fuerte e isla Tortuguilla (McCormick, 1997,1998; Rincón *et al*., 2001; Arcos *et al*., 2002; Ceballos-Fonseca, 2004), mientras que, para la costa Pacífica, se han registrado pocos avistamientos de la especie.

Entre la desembocadura de los ríos Buritaca y Don Diego, Kaufmann (1973) estudió la colonia anidadora de la tortuga caguama durante 1966, 1967 y 1970, cuando estimó un promedio de dos nidos por noche o 300 nidos durante una temporada de desove. Estos cálculos, sin embargo, no deben ser interpretados como tamaño poblacional dado que una misma hembra puede anidar hasta cuatro o cinco veces, o a intervalos de 12 a 15 días durante la misma temporada. Posteriormente, en esta misma zona el INDERENA desarrolló el programa "Operación Tortuga" entre mediados de mayo a mediados de septiembre de 1974 y 1975 (Ramírez, 1975). A partir de 1995, ha sido principalmente la Fundación Tortugas Marinas de Santa Marta (FTMSM) apoyada por CORPAMAG, la junta de acción comunal de las Cabañas de Buritaca, las asociaciones de pescadores locales, y estudiantes de las Universidades del Magdalena y Jorge Tadeo Lozano, quienes han venido adelantado acciones de protección de las tortugas anidantes en la ensenada del Cinto en el Parque Tayrona y el sector Buritaca - Don Diego (Ceballos, 1996).

En el departamento del Magdalena, tres regiones son utilizadas por tortugas marinas para la anidación, como lo son: entre el río Dibulla y el río Piedras (incluye las playas de Dibulla, los holandeses, Palomino, Don Diego, Buritaca, Guachaca, y Mendiguaca), en el PNN Tayrona (que va desde el río Piedras y la Bahía de Taganga), y en la Vía Parque Isla de Salamanca (desde Punta Gloria hasta Bocas de Ceniza) (Ceballos, 1996). En la zona Dibulla - Río Piedras, las cuatro especies de tortugas caguama, carey, canal y verde tienen reportes desde 1961 y 1986 (Ceballos, 1996; Pinzón y Saldaña, 1999).

Entre las acciones desarrolladas con estas tortugas en el departamento del Magdalena, está la relocalización de nidos naturales a corrales, dada la alta depredación de estos por humanos, animales domésticos y la pérdida de algunos sectores de la playa (MNA, 2002). En 1995 se instalaron dos corrales en playa el Cinto y en el sector de Quebrada María cerca al río Buritaca; en 1996 se instaló un tercer corral en la desembocadura del río Don Diego que también funcionó en 1997, y en 1998 se instaló un cuarto corral cerca de la desembocadura del río Guachaca (Marrugo y Vásquez, 2001). Esta zona fue nuevamente monitoreada por estudiantes de la Universidad Jorge Tadeo Lozano durante la temporada de anidación 2001 (Marrugo y Vásquez, 2001), quienes llaman la atención sobre la disminución de anidaciones en las playas de Don Diego, Buritaca y Guachaca y resaltan las playas de Quintana y Mendiguaca como las de mayor anidación. Los estudios realizados para la tortuga caguama de igual forma en su mayoría incluyen monitoreos y relocalización de nidos naturales a corrales en el Caribe colombiano, siendo esta la especie que más posee estudios en la región (Trujillo-Arias *et al.,* 2014).

En los últimos años, el ProCTMM ha venido adelantando distintos estudios entorno a la genética poblacional de las colonias anidantes que llegan a las diferentes playas de la región de Santa Marta, especialmente para *C. caretta*. En conjunto con investigaciones de rutas migratorias mediante el uso de telemetría satelital, monitoreo de playas de anidación, entre otras temáticas, se ha obtenido información para poder generar estrategias de conservación al interior del programa. Trabajos como el de Hernández (2015), Quintero (2015) y más recientemente Lozano (2018), determinaron la variabilidad genética de *C. caretta* y su relación con poblaciones a nivel global, encontrando que los haplotipos de los especímenes de Santa Marta poseen conectividad genética con otros haplotipos del

Atlántico Norte, Mediterráneo y Cabo Verde en África. Sin embargo, en cuanto a isótopos estables de tortugas marinas no se tiene información obtenida en el ProCTMM, ni en el Caribe colombiano.

# 4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS

## 4.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Ante la necesidad de generar estrategias para la conservación para las tortugas marinas, específicamente la tortuga caguama (*Caretta caretta)* categorizada como "Vulnerable" (Casale y Tucker, 2017), se pretende aportar una evaluación de la variabilidad isotópica en el tejido óseo de *C. caretta* a partir de ejemplares en cautiverio traídos de playas de anidación de Santa Marta. De esta manera, mediante el uso de los isótopos estables de carbono y nitrógeno, se pretende determinar la asimilación de la dieta suministrada (la misma para todos los individuos) en el tejido durante el programa de levante. Adicionalmente, se espera hacer una comparación en las señales isotópicas entre los diferentes nidos, puesto que las madres pueden provenir de distintas áreas de alimentación y diferir su asimilación en el tejido. Finalmente, se realizarán comparaciones entre las diferentes tallas de los organismos con el fin de ver si este factor difiere en los valores isotópicos al incorporarlo en el tejido óseo.

## 4.2 OBJETIVOS

### 4.2.1 Objetivo general

Evaluar la variabilidad isotópica en el tejido óseo en especímenes juveniles de tortugas caguama (*C. caretta*) dispuestos en procesos de levante del ProCTMM alimentados en el programa con la misma dieta, pero provenientes de ocho nidos diferentes ubicados en los Sectores Los Cocos-Don Diego (departamento del Magdalena), mediante el uso de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}C$) y nitrógeno ($\delta^{15}N$), para evidenciar la eficiencia en la asimilación de la dieta en el tejido óseo entre nidos y tallas diferentes, con el fin de ampliar

la información requerida para las estrategias de conservación que se vienen implementando en programas de levante en cautiverio.

### 4.2.2 Objetivos específicos

- Estimar la variación en la eficiencia de asimilación en el tejido óseo de los juveniles de *C. caretta* provenientes de ocho nidos en los Sectores Los Cocos-Don Diego (departamento del Magdalena), con las señales isotópicas del $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ adquiridas durante el crecimiento en el tejido óseo durante el proceso de levante ProCTMM alimentados con la misma dieta.

- Identificar si existen diferencias en los valores de isótopos de carbono y nitrógeno adquiridos en el tejido entre los ocho nidos, partiendo de que todos fueron alimentados en condiciones iguales a pesar de que cada nido puede provenir potencialmente de diferentes madres con áreas de alimentación distintas.

- Determinar las posibles diferencias isotópicas en los individuos de *C. caretta* evaluados, teniendo en cuenta la información de sus seis grupos de tallas, ya que la asimilación de dieta puede cambiar según la talla.

## 4.3 HIPÓTESIS

### 4.3.1. Hipótesis general:

- En las señales isotópicas del tejido hueso de *C. caretta,* solo se verán reflejadas las provenientes de la dieta suministrada durante la fase de levante, tales como pescados y moluscos (zona costera), mientras que las señales maternas y/o de su hábitat natural, no se verán reflejadas en los resultados, debido a la tasa de recambio del tejido óseo.

### 4.3.2. Hipótesis sobre asimilación isotópica entre dieta suministrada vs. origen nidada

- Ho: No se encontrarán diferencias significativas en los valores de isótopos de carbono entre los grupos evaluados procedentes de las ocho nidadas colectadas en el sector Los Cocos-Don Diego, ya que la forma de asimilar el alimento es la misma puesto que han sido alimentadas con lo misma dieta durante el proceso de levante, y el origen de sus nidos (posible madre diferente) no afectará su incorporación en el tejido.

- Ha: Se encontrarán diferencias significativas en los valores de isótopos de carbono entre los grupos evaluados procedentes de las ocho nidadas colectadas en el sector Los Cocos-Don Diego, ya que cada uno podría presentar desigualdad al asimilar el alimento que ha sido suministrado en levante e incorporarlo a sus tejidos al tener distinto origen de sus nidos (posible madre diferente).

### 4.3.3. Hipótesis sobre asimilación isotópica en clases de talla

- Ho: Las diferentes clases de talla de los individuos de *C. caretta* no mostrarán variaciones significativas en sus valores isotópicos, ya que, el tejido hueso podría no representar información dietética integrada durante largos periodos.

- Ha: Las diferentes clases de talla de los individuos de *C. caretta* mostrarán variaciones significativas en sus valores isotópicos, ya que el tejido hueso representa información dietética integrada durante largos periodos.

# 5. METODOLOGÍA

## 5.1 ÁREA DE ESTUDIO

Las tortugas caguama (*C. caretta*) evaluadas, hacen parte del monitoreo de playas que se lleva a cabo en los sectores Los Cocos-Don Diego, localizados en la región de Santa Marta, zona norte del departamento del Magdalena (Figura 5). En esa región se colectaron los neonatos recién eclosionados dentro del marco de la Etapa XI (año 2017-2018) del ProCTMM.

**Figura 5.** Ubicación geográfica de las playas de anidación en los Sectores Los Cocos- Mendiguaca – Guachaca-Don Diego, región de Santa Marta, departamento del Magdalena, Caribe colombiano. En la imagen superior izquierda se muestra la localización de la región de estudio (Santa Marta). Mapa elaborado por María José Nariño (2020).

Las playas de la región son lugares propicios y con las condiciones aptas para la anidación de tortugas (Ceballos-Fonseca, 2004). Tanto a nivel histórico como en la actualidad, Don Diego ha sido una playa de alta anidación, particularmente para la tortuga caguama, y en menor proporción en su orden para la tortuga canal, verde, y por último carey (Ceballos-Fonseca, 2004).

Entre los riesgos naturales de estas playas están la erosión producto de la dinámica natural, las inundaciones de los ríos, y el material de deriva arrastrado y la marea alta (Ceballos-Fonseca, 2004). Durante la temporada de anidación se llevó a cabo la exploración de nidadas a través de recorridos nocturnos para la recolección de huevos. Los individuos correspondientes fueron colectados y trasladados hacia las instalaciones del ProCTMM, localizadas en la ciudad de Santa Marta (El Rodadero) en el Acuario Mundo Marino de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano – Sede Santa Marta, para la posterior incubación, cuidado y levante.

## 5.2 OBTENCIÓN DE MUESTRAS

En la Figura 6 se puede observar a los organismos de *C. caretta* en los sistemas cerrados del ProCTMM, además de los sistemas del Tortugario y el proceso de alimentación de las tortugas *C. caretta* (Figura 7). A las tortugas se les alimentaba dos veces al día *Ad libitum* (Figura 7) con porciones de pescado de especies regionales como: *Opisthonema oglinum* (machuelo), *Mugil incilis* (lisa rayada), *Scomberomorus brasiliensis* (sierra común), *Ocyurus chrysurus* (rubia) y *Sicydium sp.* y, ocasionalmente, camarones (*Litopenaeus vannamei*), calamares (*Loligo* sp.) y jaibas (*Callinectes* sp.). Estas condiciones se mantienen básicamente hasta el día de su introducción al medio natural (alrededor de diez meses a un año) o hasta que mueran por alguna condición específica.

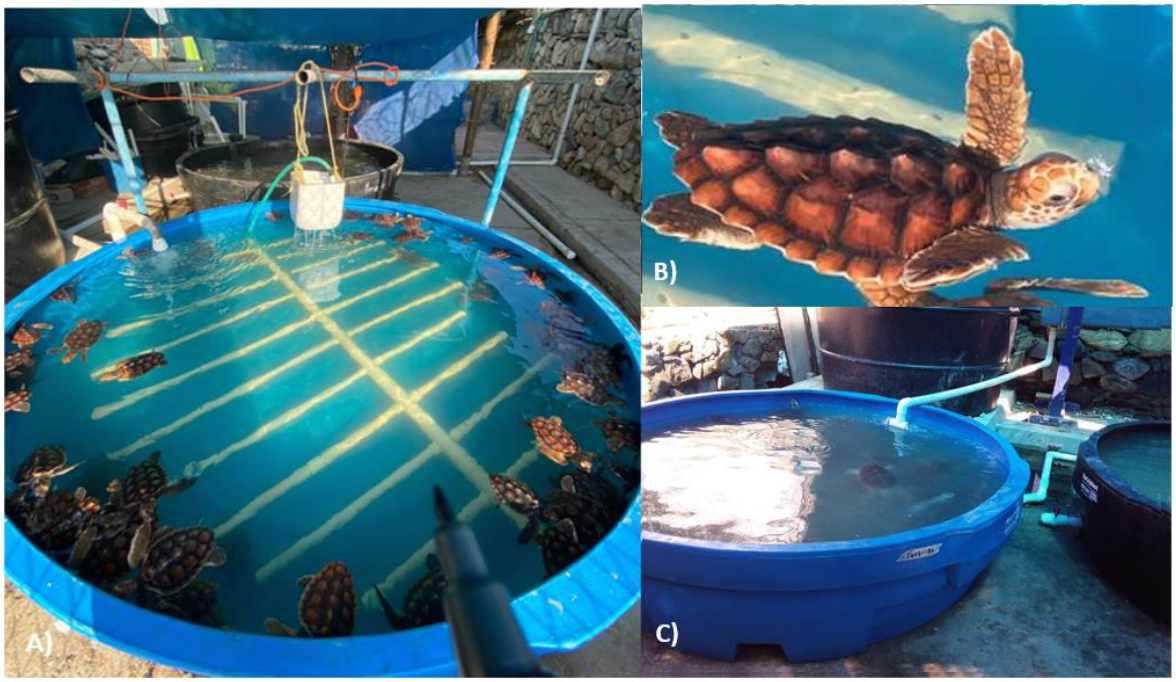


**Figura 6.** Instalaciones en el Acuario Mundo Marino en el Rodadero (Santa Marta) donde el Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM realiza el cuidado y alimentación de las tortugas (neonatos y juveniles). A) Tanque con sistema de recirculación y filtración externa, B) Un espécimen de tortuga caguama *Caretta caretta*, C) Sistema anexo central del Tortugario.

**Figura 7.** Proceso de alimentación *Ad libitum* de las tortugas marinas dos veces al día en las instalaciones del Acuario Mundo Marino en el Rodadero (Santa Marta, Caribe colombiano).

## 5.3 ACTIVIDADES A DESARROLLADAS

### 5.3.1 Procesamiento de las muestras para isótopos

Se procesaron muestras del tejido óseo pertenecientes a ejemplares de caguama (*C. caretta*) de ocho nidos diferentes, procedentes de las playas del Sector Don Diego (Región de Santa Marta) de la Etapa XI del programa de levante (2018-2019), específicamente el hueso del proceso acromio y hueso coracoides (Figura 8), obtenidas a partir de necropsias hechas en individuos juveniles que fallecieron durante la fase de levante. Siguiendo el procedimiento referido por Newsome *et al.* (2006), las muestras fueron procesadas de la siguiente manera:

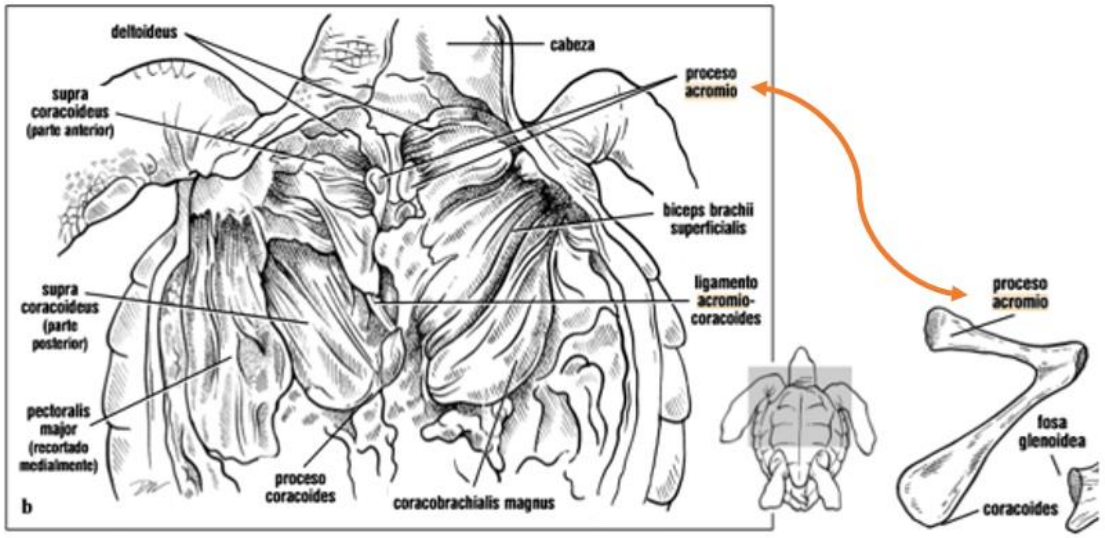


**Figura 8.** Ubicación a nivel ventral de las muestras de tejido óseo de tortugas marinas extraídas a partir de necropsia, correspondientes al proceso acromio y hueso coracoides. Tomado y modificado de: Wyneken (2004).

Con ayuda del bisturí, el tejido blando presentes en las muestras de hueso de los especímenes fue removido y se almacenaron en tubos eppendorf (Figura 9). Posteriormente las muestras óseas fueron homogenizadas con ayuda de un mortero.

**Figura 9**. Muestras de tejido óseo almacenadas en tubo eppendorf (izquierda). Proceso de maceración manual de cada una de las muestras para poder pesar y almacenar en el trial (derecha).

Se probaron dos procesos metodológicos para determinar si había diferencias en la obtención de los resultados. En el primero, no se utilizaron reactivos para tratar el hueso, y las muestras se secaron a 60 °C por 24 h, y posterior a esto se pesaron en la balanza analítica de 0.6 a 1 mg para ser guardarlas en las cápsulas de estaño, que fueron almacenadas en un trial. Al final, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de isótopos estables de la Estación Experimental del Zaidín (CSIC, Granada, España) para la lectura de las señales isotópicas de las muestras.

Para el segundo proceso metodológico, al tener las muestras en cada eppendorf (sin pulverizar), fueron puestas a secar en un horno a 60 °C por 39 h. Posteriormente y con el fin de desmineralizar el hueso y liberar el colágeno, se les agregó ácido clorhídrico (HCl) 0.5 N hasta que cubriera la muestra y se llevó a 5 °C por 15 h. Luego, el sobrenadante de ácido fue extraído y se centrifugó por 15 min a 2.200 revoluciones. Posteriormente, se secaron las muestras nuevamente en el horno a 50 °C por 42 h. Luego, fue agregada la solución cloroformo-metanol-agua (2:1:0.8) para efectuar los lavados del hueso, y las muestras fueron centrifugadas por 15 min a 2200 rev (este paso fue repetido tres veces para asegurar la limpieza de las muestras). Se colocaron las muestras a secar al horno a 40 °C por 24 h. Inmediatamente después, fue agregado HCl 0,1 N (Figura 10), dejándose por 24 h para asegurar la preservación del colágeno; después fueron dejadas en la nevera

a 5 °C por 48 h y luego se retiró el ácido y se dejaron secar las muestras en el horno a 40°C por 48 h.

**Figura 10.** Proceso de agregar ácido clorhídrico (HCl) a las muestras óseas de tortuga caguama para la desmineralización del hueso y liberar el colágeno (izquierda). Diferentes lavados con cloroformo:metanol:agua para limpiar impurezas en la centrifuga (derecha).

Posteriormente, se trituraron las muestras hasta pulverizarlas con un mortero y pistilo o en su defecto, un mini taladro. Seguidamente, las muestras fueron pesadas en la balanza analítica entre 0,6 - 1 mg (máximo) y se introdujeron en cápsulas de estaño de 8x5 mm, las cuales fueron guardadas en el trial siguiendo el procedimiento 1. Las muestras respectivas, fueron enviadas al Laboratorio de isótopos estables de la Estación Experimental del Zaidín (CSIC, Granada, España) para la lectura de las señales isotópicas de las muestras (previamente etiquetadas y con su código respectivo).

### 5.3.2 Análisis de isótopos estables

**Obtención de los valores isotópicos:** los valores de isótopos estables se expresan mediante la notación delta ($\delta$), y fueron calculados con la siguiente fórmula para el tejido óseo de *C. caretta*:

$$\delta = \left(\left(\frac{Rmuestra}{Restándar}\right) - 1\right) \times 1000$$

*Rmuestra* y *Restándar*, son las fracciones pesadas y ligeras de la muestra y del estándar. El resultado obtenido se multiplica por mil, consiguiendo la notación $\delta$ en partes por mil (‰), ya que las desviaciones son muy pequeñas, facilitando el trabajo con los datos. La proporción de $^{13}C$:$^{12}C$ se expresa como $\delta^{13}C$ y la proporción $^{15}N$:$^{14}N$ se convierte en $\delta^{15}N$ (Crawford *et al.,* 2008). El estándar para el carbono es una formación (Peedee Belemnite) de fósiles marinos de Carolina del Sur (Kelly, 2000), y para el nitrógeno se utiliza la proporción de nitrógeno atmosférico (Kelly, 2000).

**<u>Normalización de valores isotópicos:</u>** El contenido lipídico en un tejido puede alterar los valores de $\delta^{13}C$ si la proporción entre C:N es > 3.5 (Post *et al.,* 2007). El valor de C:N para el tejido hueso de los juveniles de *C. caretta* fue de ~4.5 por lo que a los valores de $\delta^{13}C$ se les sustrajo el efecto de los lípidos siguiendo las ecuaciones propuestas por Post *et al.* (2007) para animales acuáticos:

$$\delta^{13}C_{normalizado} = \delta^{13}C_{sin\ tratar} - 3.32 + 0.99 \times C{:}N$$

**<u>Comparación o variación entre los diferentes nidos:</u>** Para probar la normalidad para los valores del $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks y para la homocedasticidad la prueba de Levene. Las diferencias en los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre los ocho grupos de nidos de tortugas, se evaluaron mediante el análisis de varianza unidireccional (ANOVA). Cuando se encontraron diferencias significativas en $\delta^{15}N$ entre los nidos de las tortugas, se empleó la prueba a posteriori de Tukey, mientras que para los valores de $\delta^{13}C$ se aplicó solamente el ANOVA al no encontrar diferencias significativas entre los mismos.

**<u>Amplitud y traslape de nicho entre los grupos:</u>** Para determinar la amplitud de nicho, se consideraron los criterios de Bearhop *et al*. (2004) y Newsome *et al.* (2007), quienes mencionan que puede ser medida con el tamaño de la varianza de los datos isotópicos, por lo que se convierte en una métrica del grado de especialización trófica, donde valores <1‰ indican una dieta especialista, y valores >1‰ una dieta generalista de acuerdo con lo referido por Jaeger *et al.* (2009). Aunado a lo anterior, para determinar la amplitud del nicho

isotópico se calculó el área total (AT) de polígonos convexos (convex hulls), los cuales se crean uniendo todos los puntos extremos de la distribución de los valores $\delta^{13}$Cy $\delta^{15}$N (Layman *et al.,* 2007). De esta manera, se convierten en una medida directa, abarcado por cada uno de los nidos, mostrando qué tan grande es el espacio en donde se mueve una población, es decir hasta dónde van los valores máximos y mínimos. Sin embargo, como el área de los polígonos convexos son sensibles al tamaño de muestra, para fines comparativos, también se calcularon las elipses isotópicas utilizando el método Bayesiano SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses (R, 2007; Jackson *et al.,* 2011), que fue desarrollado para el Paquete R y actualizado en febrero de 2019 (Jackson, 2019).

Este método proporciona la amplitud promedio del nicho isotópico de la población, porque tiene en cuenta dónde está el 50% de los datos o la mayor parte de estos, siendo esta una estimación sólida para comparar la amplitud del nicho isotópico basada en el cálculo de áreas de elipses estándar (SEA). SEA excluyen los puntos extremos y además tiene la ventaja de que no son tan sensibles a tamaños de muestra limitados, como es el caso del modelo de los polígonos convexos (Jackson *et al.,* 2011). Además, las SEAs se corrigieron de acuerdo con el tamaño de muestra (SEAc) y se calcularon para anular el sesgo potencial debido a las diferencias en el tamaño de la muestra entre nidos, por lo que las SEAc son el equivalente a la desviación estándar en casos univariados, y además cuentan con una menor influencia de los valores extremos como pasa al utilizar los polígonos convexos (Jackson *et al.,* 2011). Las SEAc contienen aproximadamente el 40% de los datos, con un intervalo de credibilidad del 95% (Chew, 1966; Batschelet, 1981). El traslape entre dos colonias se calculó comparando sus SEAc usando la siguiente ecuación:

$$Traslape = \frac{traslape(A, B)}{\text{Área total de } A}$$

**<u>Comparación o variación isotópica por tallas:</u>** En primer lugar, a todos los grupos de datos se les realizaron pruebas *a priori* para determinar la normalidad de los datos usando Shapiro-Wilk y para la homocedasticidad la prueba de Levene. Debido a que todos los datos cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se aplicaron pruebas las pruebas paramétricas correspondientes (ANOVA). En el análisis por talla, se realizó una regresión lineal con el fin de encontrar algún efecto por esta en los valores isotópicos.

# 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 6.1 VARIACIÓN ISOTÓPICA DE *Careta caretta* ENTRE GRUPOS (NIDOS)

Se obtuvieron 72 biopsias del tejido hueso en tortugas *C. caretta,* pertenecientes al programa de levante del ProCTMM en el Acuario Mundo Marino, durante los años 2017-2018, provenientes de nidos ubicados en la playa de anidación de Don Diego. A continuación, se muestra el número de grupos conformados en la Tabla 1, con el respectivo número de individuos. Cada uno de los grupos, se interpreta como un nido obtenido en las playas de anidación a lo largo del área de estudio, que podrían o no pertenecer a la misma madre en algunos casos. En el Anexo 1, se muestran los datos completos de los valores isotópicos de acuerdo con cada grupo (nido), con otros datos de interés de cada individuo.

**Tabla 1.** Grupos conformados para analizar las muestras de tortuga caguama (*Caretta Caretta*), correspondientes a distintos nidos de la Etapa XI (2018) del ProCTMM. (*) Grupo de individuos mezclados (que proceden de varios nidos).

| Grupo | Observaciones |
|---|---|
| **1** | Cinco individuos-muestras |
| **2** | Tres individuos-muestras |
| **3** | Ocho individuos-muestras |
| **4** | 31 individuos-muestras |
| **5** | Tres individuos-muestras |
| **6** | Cuatro individuos-muestras |
| **7** | Diez individuos-muestras |
| **8*** | Grupo mezclado<br>Nueve individuos-muestras |

Se encontraron amplios intervalos en los valores isotópicos obtenidos, teniendo para el isótopo de nitrógeno valores entre 7,89 y 11,53 ‰ (media ± DE: 9,45 ± 0,68 ‰) y para el de carbono entre - 19,65 y - 16,22 ‰ (media ± DE: -17,99 ± 0,58 ‰). En la Figura 11, se observan las gráficas de la relación entre los dos isótopos de todas las muestras, evidenciando que los grupos 1, 2, 5 y 6 son los que poseen amplios rangos en sus valores. Sin embargo, estas diferencias pueden estar dadas a que son los grupos que menor número de individuos por nido poseen (posiblemente porque más individuos de esos nidos murieron

en un corto tiempo). Por el contrario, los grupos 3, 4 y 7 exhiben los rangos más limitados para ambos isótopos.

En las Figuras 11 y 12, se muestran los valores promedio de cada grupo de tortugas, se puede observar que los individuos se estaban alimentado en su mayoría de presas posiblemente con hábitos costeros (como las especies de presas mencionadas anteriormente) debido a los altos valores de carbono que presentan la mayoría (- 18,5 a -17,5 ‰), además, presuntamente lo que han asimilado en sus tejidos, presenta niveles tróficos altos (entre 9,0 - 10,2 **‰**), quizá porque la alimentación dada en su mayoría era carnívora y procedente de la pesca obtenida en zona costera. No se pudo comparar las relaciones isotópicas con ningún estudio de tortugas para la región del Caribe, ya que aún no se han hecho, el único estudio que se ha realizado para la zona fue con delfines nariz de botella en La Guajira (Barragán-Barrera *et al*., 2019).

En el trabajo llevado a cabo por Godley *et al.* (1998), en tejido óseo de *C. caretta* que fueron colectados de ejemplares encontrados muertos en las costas del norte de Chipre y el sur de Turquía con un n=11, obtuvieron un promedio del isótopo de $\delta^{15}$N de 20 ‰ (intervalo de 13,1 a 26,4 ‰) y de carbono $\delta^{13}$C con un promedio de -14,16 ‰ (intervalo de -17,5 a -11,4 ‰). Lo anterior difiere con los valores encontrados en este estudio, ya que el de nitrógeno osciló entre 7,89 y 11,53 ‰ (media 9,45 ‰) y el carbono entre -19,65 y -16,22 ‰ (media de -17,99 ‰). Claramente se puede inferir que, al estar alimentándose de forma silvestre en el medio natural, aumenta su nivel trófico debido a la variedad de alimento que le permite tener hábitos tanto herbívoros como carnívoros. Respecto al carbono, presentaron valores menores los del estudio en el medio natural, probablemente por el origen de los sitios de alimentación, zonas alejadas de la costa.  Se debe tener en cuenta al comparar que son diferentes áreas, y la capa o rango de isótopos de cada región, puede ser muy variable.

Puntualmente, el grupo 6 se evidencia un poco más alejado de los demás en cuanto al valor del isótopo de carbono, estimándose una fuente de alimento un poco diferenciada del resto de grupos, asociada posiblemente a áreas más lejos de la costa. Por otro lado, los grupos 1, 3, 4 y 6 se alimentan de presas con valores de $\delta^{15}$N inferiores a 9,5 ‰. A su vez, en la Tabla 2 se muestran los valores promedio y sus respectivas desviaciones estándar en complemento a la gráfica.

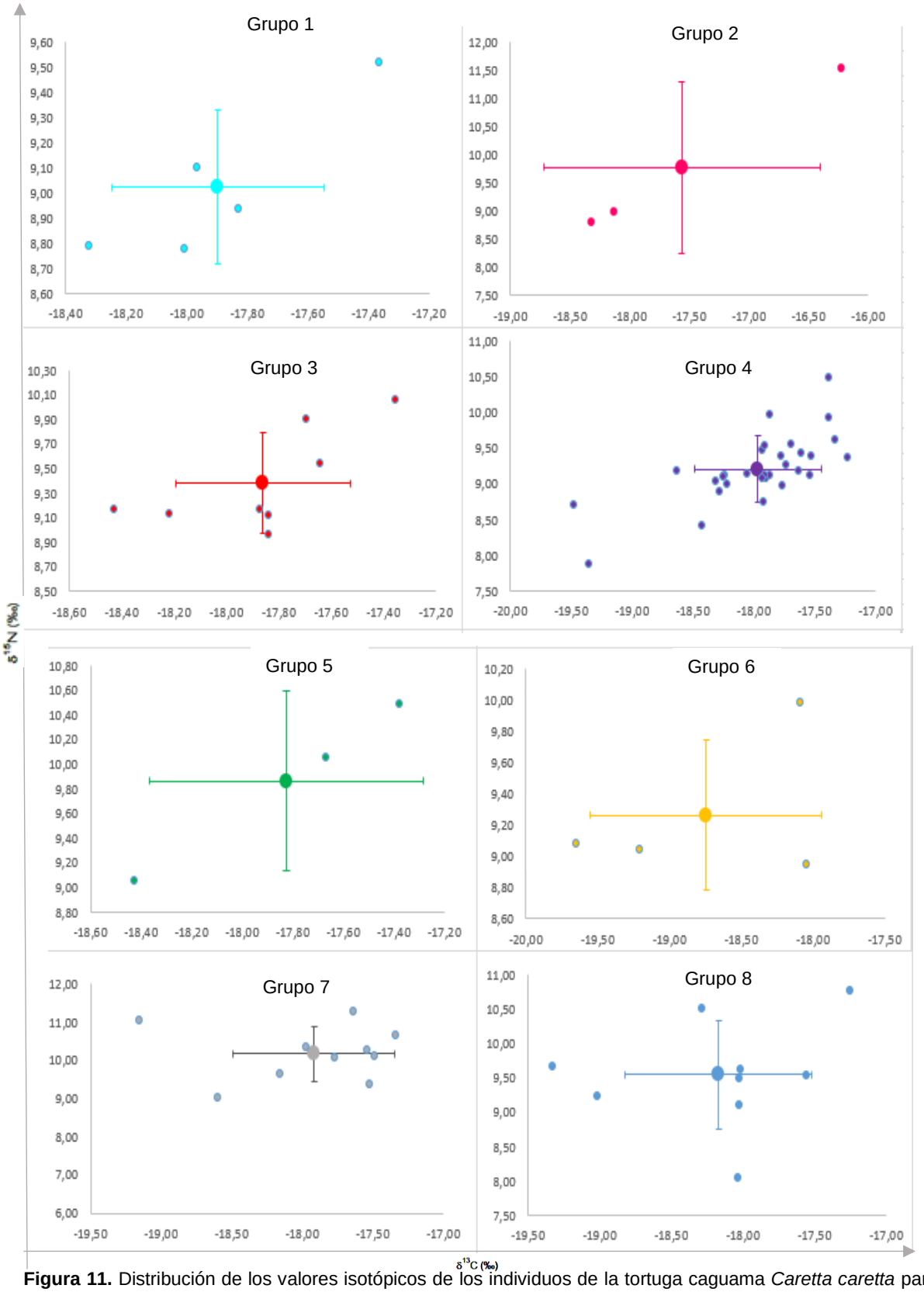


**Figura 11.** Distribución de los valores isotópicos de los individuos de la tortuga caguama *Caretta caretta* para cada grupo, indicando los valores promedio con su desviación estándar obtenidos.

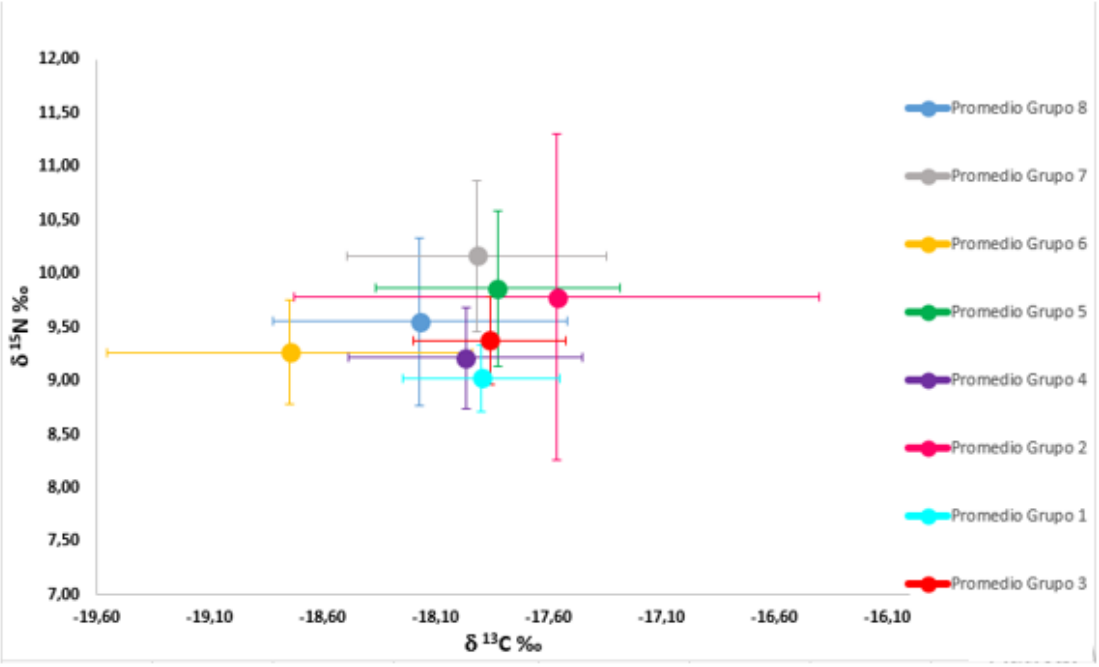


**Figura 12.** Comparación de señales isotópicas (promedio ± DE) de cada grupo de tortuga caguama (*Caretta caretta*) colectadas en los sectores Los Cocos-Mendihuaca-Guachaca-Don Diego, región de Santa Marta (Caribe colombiano).

**Tabla 2.** Valores promedio de los isótopos de carbono y nitrógeno de la tortuga caguama (*Caretta caretta*) por grupo. μ =promedio y DE= Desviación estándar.

| Grupo | $\mu\ \delta^{15}$N ‰ ± DE | $\mu\ \delta^{13}$C ‰ ± DE |
|---|---|---|
| **1** | 9,02 ± 0,30 | -17,90 ± 0,34 |
| **2** | 9,78 ± 1,52 | -17,56 ± 1,16 |
| **3** | 9,38 ± 0,40 | -17,86 ± 0,33 |
| **4** | 9,21 ± 0,47 | -17,97 ± 0,52 |
| **5** | 9,86 ± 0,73 | -17.82 ± 0,54 |
| **6** | 9,27 ± 0,48 | -18,75 ± 0,81 |
| **7** | 10,17 ±- 0,71 | -17,92 ± 0,57 |
| **8** | 9,55 ± 0,78 | -18,17 ± 0,65 |

Al realizar la prueba de comparación de medias ANOVA en general, se obtuvieron diferencias significativas en los valores de nitrógeno ($f_{calculado} > f_{tabulado}$) para las muestras de tejido hueso de isótopos, procedentes de los ocho grupos, mientras que para los valores de carbono no hubo diferencias ($f_{calculado} < f_{tabulado}$) (Tabla 3). Esto indicaría y corroboraría que la fuente de la que están siendo alimentados estos organismos, es muy similar o en este caso, la misma (alimento dado en levante); sin embargo, lo que está acumulado a nivel trófico, está siendo asimilado de manera distinta entre los nidos, a pesar de mantener las

mismas condiciones controladas, evidenciándose la variación inherente entre los individuos.

**Tabla 3.** Pruebas estadísticas realizadas para los grupos de cada isótopo, Shapiro-Wilk (normalidad), Levene (homocedasticidad) y ANOVA. Nivel de significancia del 5%. Ho= No existen diferencias significativas entre los nidos, Ha= Existen diferencias significativas.

| **Prueba estadística / isótopo** | **Shapiro-Wilk (normalidad)** | **Levene (homogeneidad de varianzas)** | **ANOVA (comparación entre grupos)** |
|---|---|---|---|
| **$\delta^{13}C$** | Valor p = 0,0523>0,05 Se acepta Ho (normalidad) | Valor p = 0,5586>0,05 Se acepta Ho (Hay homogeneidad) | Valor p = 0.175>0,05 Se acepta Ho $F(f_c)$=1,526<2,17 Se acepta Ho |
| **$\delta^{15}N$** | Valor p = 0,06883 >0,05 Se acepta Ho (normalidad) | Valor p = 0,3823>0,05 Se acepta Ho (Hay homogeneidad) | Valor p = 0,0039<0,05 No se acepta Ho $F(f_c)$=3,384>2,17 No se acepta Ho |

El gráfico de Boxplot de la Figura 13 muestra que las medianas para ambos isótopos de los ocho grupos son muy semejantes a excepción del grupo 2 que se aísla de los demás, pero la dispersión entre los grupos difiere para cada isótopo. Por ejemplo, los grupos 2, 7 y 5 tienen una mayor dispersión en el isótopo de nitrógeno (Figura 13a), y los grupos 2 y 6 se dispersan más para el carbono (Figura 13b), mientras que los grupos 4 y 8 tanto para el carbono como el nitrógeno, presentan datos atípicos.

En cuanto a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey efectuada para el isótopo de nitrógeno (Figura 14), existe una diferencia significativa entre algunos de los grupos, ya que, al comparar entre parejas, los grupos 7 y 1 (0,023<0,05) y el 7 y el 4 (0,001<0,05), son significativamente distintos, mientras que las combinaciones entre los demás grupos no mostraron diferencias en la asimilación de este isótopo.

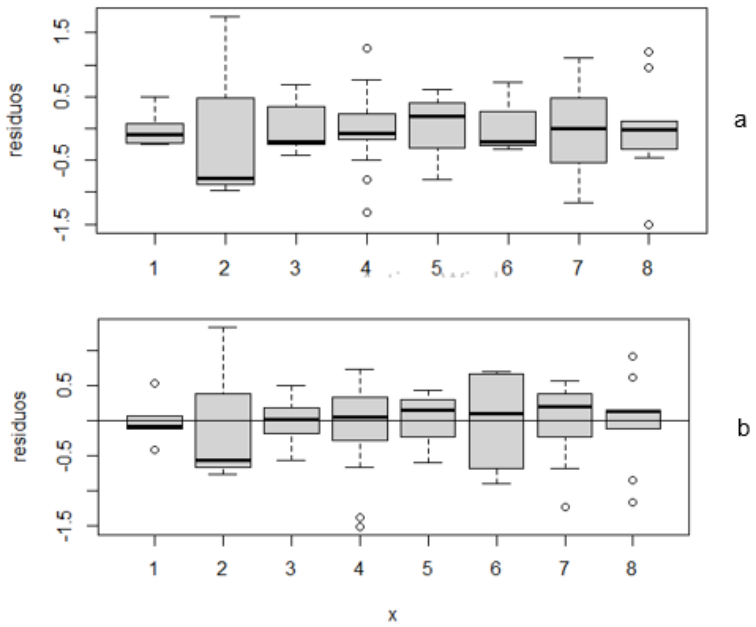


**Figura 13.** Boxplot referente a los valores residuales de los isótopos de nitrógeno (Figura a) y carbono (Figura b) para los ocho grupos de tortugas caguama (*Caretta caretta*) en el programa de levante del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM.

| Comparación entre los grupos | | | | valor-p |
|---|---|---|---|---|
| 2-1 | 0.75066667 | -0.6470099 | 2.1483432 | 0.6979911 |
| 3-1 | 0.35400000 | -0.7370609 | 1.4450609 | 0.9702299 |
| 4-1 | 0.18800000 | -0.7364761 | 1.1124761 | 0.9981837 |
| 5-1 | 0.83733333 | -0.5603432 | 2.2350099 | 0.5712007 |
| 6-1 | 0.24150000 | -1.0423479 | 1.5253479 | 0.9988984 |
| 7-1 | 1.14300000 | 0.0947426 | 2.1912574 | 0.0231346 |
| 8-1 | 0.52511111 | -0.5423820 | 1.5926042 | 0.7821671 |
| 3-2 | -0.39666667 | -1.6923475 | 0.8990142 | 0.9784507 |
| 4-2 | -0.56266667 | -1.7215588 | 0.5962255 | 0.7931733 |
| 5-2 | 0.08666667 | -1.4759832 | 1.6493165 | 0.9999997 |
| 6-2 | -0.50916667 | -1.9708918 | 0.9525584 | 0.9563599 |
| 7-2 | 0.39233333 | -0.8675153 | 1.6521819 | 0.9762837 |
| 8-2 | -0.22555556 | -1.5014538 | 1.0503427 | 0.9992637 |
| 4-3 | -0.16600000 | -0.9275413 | 0.5955413 | 0.9971824 |
| 5-3 | 0.48333333 | -0.8123475 | 1.7790142 | 0.9377953 |
| 6-3 | -0.11250000 | -1.2844874 | 1.0594874 | 0.9999878 |
| 7-3 | 0.78900000 | -0.1188175 | 1.6968175 | 0.1344467 |
| 8-3 | 0.17111111 | -0.7588516 | 1.1010738 | 0.9990450 |
| 5-4 | 0.64933333 | -0.5095588 | 1.8082255 | 0.6514293 |
| 6-4 | 0.05350000 | -0.9652231 | 1.0722231 | 0.9999998 |
| 7-4 | 0.95500000 | 0.2561617 | 1.6538383 | 0.0015521 |
| 8-4 | 0.33711111 | -0.3902628 | 1.0644850 | 0.8291049 |
| 6-5 | -0.59583333 | -2.0575584 | 0.8658918 | 0.9038962 |
| 7-5 | 0.30566667 | -0.9541819 | 1.5655153 | 0.9945264 |
| 8-5 | -0.31222222 | -1.5881205 | 0.9636761 | 0.9942325 |
| 7-6 | 0.90150000 | -0.2307474 | 2.0337474 | 0.2164380 |
| 8-6 | 0.28361111 | -0.8664681 | 1.4336903 | 0.9939551 |
| 8-7 | -0.61788889 | -1.4972411 | 0.2614633 | 0.3646198 |

**Figura 14.** Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para el isótopo de nitrógeno entre los ocho grupos de tortugas caguama (*Caretta caretta*) en el programa de levante del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM. La primera columna indica el número de los grupos que se están comparando y la última

columna indica el valor *p* de la comparación estadística. Los grupos señalados en el cuadro rojo son los que presentaron las diferencias.

### 6.1.1 Amplitud y traslapo de nicho

Con base en los valores de SEAc, el grupo con la mayor amplitud isotópica fue el 8 (1,8 **‰²**), seguido del 7 (1,4 **‰²**) y luego el 6 (1,3 **‰²**). Los demás grupos presentan una disminución en su amplitud de datos (con valores menores a 0,5 **‰²**), teniendo que el menor de todos fue el grupo 5 con un valor de 0,07 (Figura 15).

Las mayores varianzas y a su vez valores de TA o ancho de todo el polígono (extensión de todos los datos de cada grupo) lo presentaron los grupos 4, 7 y 8 con valores superiores a 2,4, mientras que los grupos 2 y 5 presentaron los menores valores (<0,1 **‰²**). Dado que los grupos 6, 7 y 8 mostraron una amplitud > 1 **‰²**, se sugiere que los especímenes tenían una dieta generalista (consumieron de todo lo que se les daba en levante), mientras que los otros grupos tenían más una dieta especialista y podrían haber estado seleccionando ciertas presas sobre otras (Tabla 4; Figura 15).

**Tabla 4.** Valores de amplitud de nicho en área (‰²) de las elipses respecto a los valores isotópicos de cada grupo de tortugas caguama (*Caretta caretta*). SEA: Valor elipse amplitud (SEAc: Valor elipse corregida amplitud, TA: Valor área total amplitud.

| Grupo | SEA (‰ ²) | SEAc (‰ ²) | TA (‰ ²) |
|---|---|---|---|
| **1** | 0,1511 | 0,2015 | 0,1536 |
| **2** | 0,1489 | 0,2978 | 0,0821 |
| **3** | 0,3053 | 0,3562 | 0,4401 |
| **4** | 0,5427 | 0,5620 | 2,4388 |
| **5** | 0,0360 | 0,0720 | 0,0198 |
| **6** | 0,8896 | 1,3344 | 0,6007 |
| **7** | 1,2739 | 1,4332 | 2,8857 |
| **8** | 1,5773 | 1,8026 | 2,7988 |

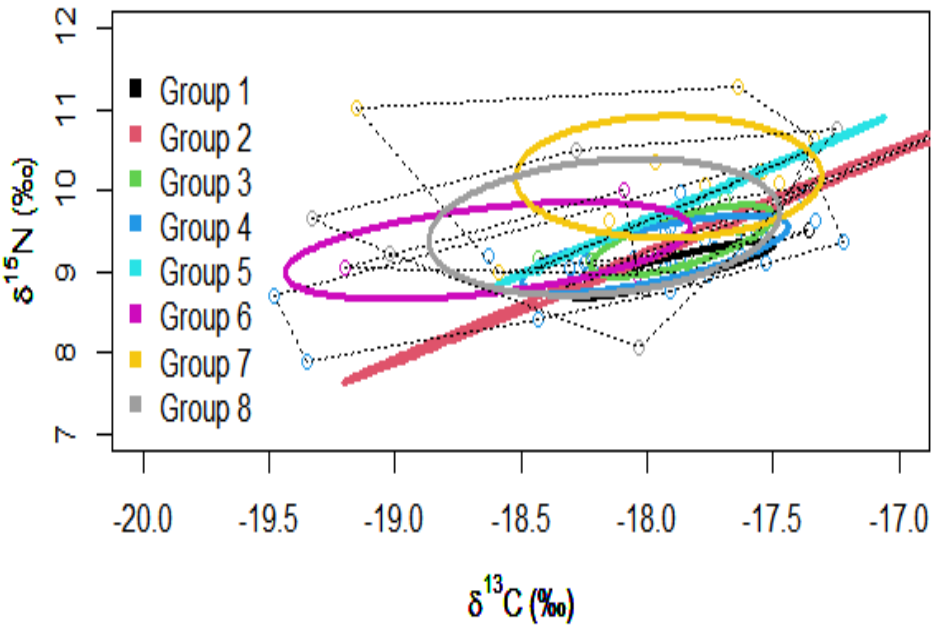


**Figura 15.** Elipses de los valores de isótopos para los ocho grupos correspondientes a la amplitud de los ocho nidos de tortuga caguama (*Caretta caretta*) durante la alimentación en levante del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM.

Los datos organizados en la Tabla 5, se presenta el porcentaje (%) de sobrelapamiento o traslapes en comparaciones pareadas entre todos los grupos en cuanto al alimento asimilado en la dieta suministrada en levante de un nido al otro, teniendo en cuenta las elipses de la Figura 15, donde se interpretó la amplitud del nicho isotópico. De esta manera, el grupo 1 se traslapa solo un 9% con el grupo 2, pero cuando se analiza, al contrario, es decir, al comparar el porcentaje de traslapo del 2 vs. 1, es del 16%. Del mismo modo, se tienen algunos grupos como el 4 vs. 8 donde el traslapo es del 95%, entendiendo que la elipse del grupo 4 ocupa un 95% en la elipse del grupo 8, pero cuando se ve el contrario, es decir 8 vs 4, solo este grupo se traslapa en un 50% con la elipse del grupo 4. Estos resultados muestran que hay nidos cuyos individuos probablemente consumían todo lo que se les suministrada mientras que en otros los especímenes eran más selectivos. Se destaca el grupo 8 que presenta altos porcentajes (>80 %) de traslape hacia todos los demás grupos, seguidos del 7 y el 4, mientras que el grupo 5 posee prácticamente un porcentaje nulo de traslapo hacia los demás grupos. Lo anterior se puede interpretar como que el grupo 8 comparte alto porcentaje de valores isotópicos relacionados con el alimento consumido en levante con los demás grupos, ya que este grupo contiene muestras mezcladas de todos

los nidos, mientras que para el grupo 5 los valores isotópicos que estos han asimilado en sus huesos no están compartidos con los demás grupos y han asimilado de forma diferente.

**Tabla 5.** Porcentaje de traslape de nicho entre los ocho nidos de tortugas caguama (*Caretta caretta*) alimentadas en el programa de levante del Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM.

| Grupos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | NA | 9 | 80 | 98 | 0 | 58 | 77 | 98 |
| **2** | 16 | NA | 44 | 54 | 0 | 35 | 56 | 63 |
| **3** | 35 | 18 | NA | 95 | 3 | 71 | 89 | 98 |
| **4** | 34 | 12 | 67 | NA | 3 | 65 | 77 | 95 |
| **5** | 1 | 0 | 55 | 68 | NA | 59 | 85 | 88 |
| **6** | 8 | 3 | 28 | 53 | 2 | NA | 60 | 86 |
| **7** | 6 | 4 | 25 | 35 | 2 | 36 | NA | 82 |
| **8** | 11 | 5 | 31 | 50 | 2 | 53 | 72 | NA |

Se puede evidenciar que, aunque en el levante se alimentaron a todos los individuos de cada nido con el mismo alimento y frecuencia al día, existen diferencias en los valores isotópicos de nitrógeno que asimilaron en su tejido óseo, separándose en grupos como el 2 y el 5 (Tabla 5), en donde el porcentaje de traslape isotópico es muy bajo hacia todos los otros grupos, así como otras diferencias entre grupos. De acuerdo con lo anterior, se nombraron varias posibles fuentes de cambios por las cuales se pueden estar presentando estas grandes diferencias, como el estar relacionado a variabilidad intrínseca del tejido óseo de cada colonia de manera puntual, en la asimilación de los nutrientes que pueden resultar en distintas rutas isotópicas, o incluso el tiempo (edad) en que murieron (Barnes *et al.,* 2008)**.** Esto puede deberse a que el consumo de alimentos dados en la dieta también está influenciado por varios aspectos, como por ejemplo el acceso de cada individuo a los alimentos y de cuánto compita con otros, ya sea en términos de fuerza, tamaño o vitalidad (Turner *et al.,* 2017).

La información de isótopos estables de carbono y nitrógeno obtenidos de los recursos alimentarios toma de dos a tres periodos hasta que estos son incorporados completamente al tejido del depredador (Hobson *et al.,* 1993). Estos periodos de incorporación se refieren al tiempo que estos demoran en cambiar de ser una partícula de la dieta, a ser derivados de un tejido específico (Tieszen *et al.,* 1993). La composición de estos isótopos en los tejidos de los consumidores se mide en función de las razones isotópicas ($\delta^{15}$N y $\delta^{13}$C) de todas sus presas (la proporción relativa asimilada de cada especie presa). El fraccionamiento isotópico que está asociado con la conversión del tejido de cada presa en

tejido del consumidor (en este caso el hueso). El factor de discriminación del hueso en tortugas marinas es de ~2 a 6 ‰ tanto para el carbono como para el nitrógeno (Lee-Thorp *et al.,* 1989), y a veces también cambia con el área de alimentación (Bearhop *et al.,* 2004). Sin embargo, el fraccionamiento isotópico puede ocurrir con distintas fuentes de variabilidad tales como: las distintas dietas y/o zonas de alimentación de los organismos (Hobson *et al.,* 1993), el fraccionamiento trófico que se da entre la dieta y el consumidor (Zanden y Rasmussen, 2001) y la variabilidad a nivel individual o entre individuos de diferentes sexos y clases de edad, asociados a la actividad metabólica de organismos o de la especie (Sierzen *et al.,* 1996).

En adición a esto, la señal isotópica permanecerá en los tejidos dependiendo de la tasa de recambio de estos, ya que los diferentes tejidos difieren en sus tasas de recambio. Por este motivo, en cualquier estudio que se aborde el uso de la técnica isotópica, se deban considerar estos factores de variabilidad. Se observa que en la Tabla 5, no presentaron diferencias significativas los valores de isótopo de carbono, equivalente a la fuente de alimento suministrada, lo cual concuerda, puesto que el alimento suministrado y su procedencia fue la misma (pescadores en las cercanías de Santa Marta). Por el contrario, los valores de isótopos de nitrógeno sí mostraron diferencias.

Las posibles fuentes de variabilidad isotópica reportadas en este estudio pueden deberse también a factores intrínsecos no evaluados, como características genéticos y ambientales que son responsables de la va**ri**ación natural de los valores isotópicos de los componentes de la dieta (Turner *et al.,* 2017). La variación genética puede influir en la discriminación del isótopo C, Ponton *et al.* (2001), demostraron esto al comparar dos especies de robles (*Quercus robur* y *Q. petraea*), en la discriminación del isótopo C, en las mismas condiciones ambientales. Recientemente, Pritchard y Guy (2005), describieron que las diferencias genéticas en la capacidad de asimilación y absorción de N entre las procedencias de la picea blanca (*Picea glauca*) pueden dar como resultado un fraccionamiento de isótopos de N diferente durante la absorción, al igual que en el estudio de Peuke *et al.,* 2006. Los estudios anteriores son ejemplos con productores primarios, y claramente la asimilación y absorción de C y N se asocia a variaciones ambientales para la captación de nutrientes, pero en esos estudios se usaron condiciones controladas. En los resultados de *C. caretta* aquí presentados, se encontraron diferencias entre los grupos que estaban en las mismas

condiciones ambientales y probablemente estas variaciones pudieron deberse un poco a su componente genético, así como fue demostrado en los estudios nombrados anteriormente realizados en isótopos estables de plantas.

## 6.2 VARIACIÓN ISOTÓPICA DEL TEJIDO ÓSEO DE *C. caretta* POR TALLAS

Para en análisis realizado por tallas, se tuvieron en cuenta individuos juveniles de seis grupos diferentes (distintos a los grupos de nidos). Entre las tortugas muestreadas dentro del ProCTMM, se observó que el largo recto del caparazón (LRC) fue de 17,21 cm en promedio (D.E = 1,58; intervalo= 14 - 21cm; N= 70). En la Figura 16 se puede observar que gran parte de los individuos tienen un LRC de 15 a 18 cm. En el Anexo 2, se puede encontrar la información completa de los 72 individuos con sus respectivas tallas (LCR) y valores isotópicos, además de otra información específica como el peso de cada uno que podría ser o no otra variable.

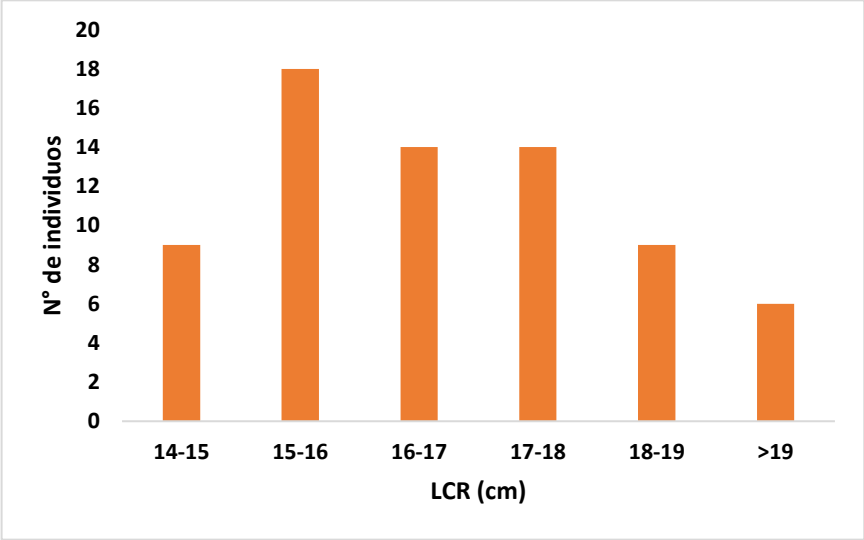


**Figura 16.** Distribución de tallas de las tortugas caguama (*Caretta caretta*) muestreadas en el ProCTMM y provenientes de la región de Santa Marta (Caribe colombiano), para análisis isotópico del tejido óseo.

Al comparar las señales isotópicas entre los distintos grupos de tallas (Figura 17 y Figura 18), no se encontraron diferencias significativas en la $\delta^{15}N$ ($F_{5,64}$=1,7199, p>0.05), ni tampoco entre los de $\delta^{13}C$ ($F_{5,64}$=0,5605, p>0.05) (Tabla 6). El valor más alto en la

proporción isotópica del N se registró en la clase de talla 18-19 cm del LRC (n=9) obteniéndose datos intermedios en la clase de talla 16-17 cm LRC (n=14), mientras que los valores más bajos los tuvieron la mayoría de los individuos (15 a 16 cm del LRC, n=18). Para las proporciones isotópicas de C, el valor más alto lo obtuvieron los especímenes entre 15-16 cm, y el menor valor (-18.25 ‰) en la talla más pequeña (14-15 cm).

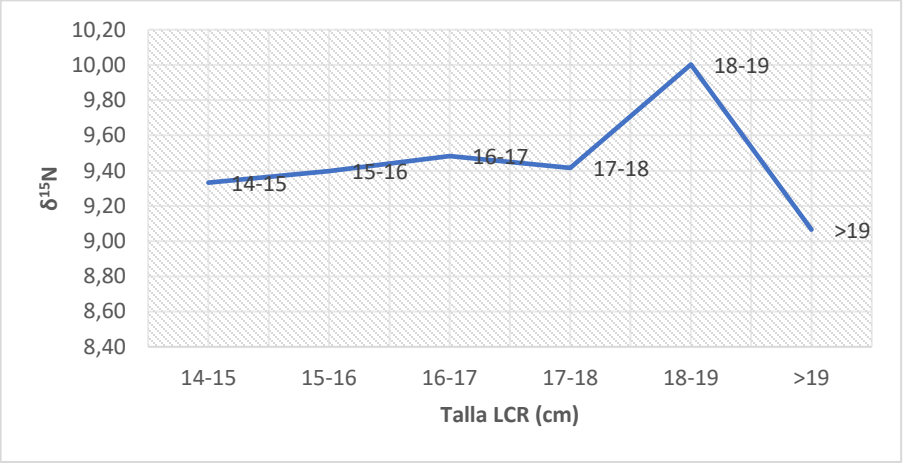


**Figura 17.** $\delta^{15}$N promedio en ‰ para el tejido óseo de los diferentes grupos de tallas de tortugas caguama (*Caretta caretta*) muestreadas en el Programa de Conservación de Tortugas Marinas-PROCTMM y provenientes de la región de Santa Marta (Caribe colombiano).

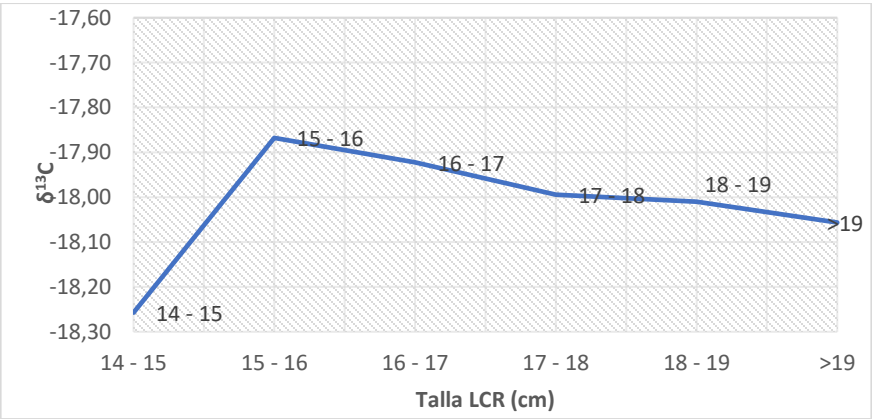


**Figura 18.** $\delta^{13}$C promedio en ‰ para el tejido óseo de los diferentes grupos de tallas de tortuga caguama (*Caretta caretta*) muestreadas en el ProCTMM y provenientes de la región de Santa Marta (Caribe colombiano).

Los análisis de correlación no mostraron una relación significativa entre las señales de $\delta^{15}N$ o $\delta^{13}C$ con la talla de los organismos (N: r = 0.2968; C: r = 0.1337). Esto indica que los valores isotópicos asimilados en el hueso de las tortugas juveniles de *C. caretta,* no están relacionados con la longitud o talla, coincidiendo con otros autores (Godley *et al.,* 1998; Reich *et al.,* 2007) quienes, en sus estudios isotópicos, no han encontrado una relación directa entre la talla del individuo y los valores de isótopos de carbono y nitrógeno.

**Tabla 6.** Pruebas estadísticas realizadas para las tallas del Largo del Caparazón (LCR) de cada isótopo, Shapiro-Wilk (normalidad), Levene (homocedasticidad) y ANOVA. Nivel de significancia del 5%. Ho= No existen diferencias significativas entre los nidos, Ha= Existen diferencias significativa

| Prueba estadística / isótopo | Shapiro-Wilk (normalidad) | Levene (homogeneidad de varianzas) | ANOVA (comparación entre tallas) |
|---|---|---|---|
| **$\delta^{13}C$** | Valor p = 0,0523>0,05 Se acepta Ho (normalidad) | Valor p = 0,5586>0,05 Se acepta Ho (Hay homogeneidad) | Valor p = 0.7297>0,05 rechazase acepta Ho $F(f_c)$=0.5605<2,35 Se acepta Ho |
| **$\delta^{15}N$** | Valor p = 0,06883 >0,05 Se acepta Ho (normalidad) | Valor p = 0,3823>0,05 Se acepta Ho (Hay homogeneidad) | Valor p = 0,1427>0,05 Se acepta Ho $F(f_c)$=1,7199<2,35 Se acepta Ho |

Sarmiento-Devia *et al.* (2018), refieren que existe siempre variedad en cuanto a las tallas en todo grupo de organismos. Tal como se muestra en la Figura 16, estas variaciones son intrínsecas de cada nido o incluso individuo, asumiéndose que los más pequeños, crecen a un ritmo más lento, no sólo porque están genéticamente predispuestos a hacerlo, sino también porque su condición corporal limita su capacidad para acceder a los alimentos, pudiéndose por ello, encontrarse diferencias entre los grupos evaluados. Bjorndal *et al.* (2013) describieron una situación similar, comparando la tasa de crecimiento y la talla de madurez sexual en ejemplares de *Chelonia mydas*, bajo cuidado humano en las islas Caimán. En general, sean causadas por la variación entre individuos o por preferencias de dieta (es decir, consumo de más o menos de un cierto tipo de presa), tasas de crecimiento, edad, así como otras diferencias fisiológicas y de salud, van a afectar la variabilidad de los resultados. Desde este punto de vista, se requieren nuevos enfoques que evalúen la asimilación individual, pero también que consideren la competencia por los alimentos y los costos de energía, asociados con el proceso de alimentación.

Un estudio realizado con tortugas verdes (*Chelonia mydas*) mostró que a medida que aumentan de tamaño, las tortugas parecen alimentarse a niveles tróficos progresivamente más altos. No obstante, tampoco se encontró una relación del tamaño del individuo con las firmas de isótopos del colágeno de hueso (Godley *et al.,* 1998). Lo encontrado por estos autores se corrobora con los resultados de la presente investigación, ya que, al efectuar la comparación entre grupos de tallas, no se obtuvieron diferencias significativas entre estos, así como tampoco un $R^2$ (relación lineal) alto entre los isotopos vs. LCR. Esto puede sugerir que el colágeno óseo, al menos en esta especie y posiblemente en las tortugas marinas en general, puede no representar información dietética integrada durante períodos prolongados (aún en individuos juveniles), acercándose a la vida del individuo como se propone para otros grupos (Stenhouse y Baxter, 1979; Hobson, 1993).

Si los valores isotópicos en el colágeno de los huesos de tortuga se acercaran a una integración de largo plazo (diferentes etapas de vida) de la información dietética, se esperaría que las tortugas pequeñas mostraran firmas de nitrógeno más altas y firmas de carbono más bajas, debido a la alimentación omnívora mientras están en la etapa juvenil pelágica. También puede suceder que la dieta omnívora muestre valores de $\delta^{13}C$ intermedios en especies de hábitos costeros y que se mueven o frecuentan zonas más alejadas de la costa. Pero para el caso del $\delta^{15}N$, los valores tiendan a ser más altos en una dieta con mayor porcentaje de carne, pero más bajos en una dieta solo dominada por algas o productores primarios (Hobson *et al.,* 1994).

La anterior afirmación está argumentada para todas las especies de tortugas marinas por tres razones: las tortugas marinas tardan en madurar, con estimaciones reportadas que varían de al menos nueve a 14 años en las tortugas laúd, 19 a 27 años en las tortugas verdes y más de 20 años en las tortugas caguamas (Zug y Parham, 1996); Al ser reptiles, es probable que las tortugas experimenten un crecimiento esquelético durante este período de maduración y posiblemente más allá; y es probable que este crecimiento esquelético implique una remodelación y un metabolismo constantes de los elementos óseos. Por lo tanto, consideran predecible que el colágeno óseo represente más que las preferencias dietéticas en un lapso intermedio, tal vez si de algunos años, no se tiene información de

cuántos (Zug y Parham, 1996). Adicionalmente, el desgaste físico en la superficie externa de los escudos signifique que esta proteína también es solo indicativa de influencias dietéticas a mediano plazo (6-12 meses) (Hobson, 1993).

Sin embargo, en este trabajo sólo se están evaluando juveniles levantados bajo cuidado humano, por lo que representan una clase de edad muy similar, y, por tanto, los resultados reportados aquí que no reflejan diferencias entre tallas, siendo esperable. Los especímenes analizados corresponden a juveniles dado que las tortugas marinas no tenían más de un año, y estas especies tardan en madurar con las estimaciones anteriormente nombradas.

Comparaciones de firmas de isótopos hechas entre especies en aves marinas y ecotipos de delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*), muestran que los que se alimentan pelágicamente tienden a tener firmas $\delta^{13}C$ más negativas que las costeras o de los que se alimentan de los bentos (Hobson *et al.,* 1994; Barragán-Barrera *et al.*, 2019). Los valores reducidos de $\delta^{13}C$ reportados en los individuos evaluados, no serían consistentes con los hábitos alimenticios neríticos de la tortuga caguama, que en el medio natural presentan valores relativamente elevados de $\delta^{13}C$ (Godley *et al.,* 1998). Sin embargo, se debe tener en cuenta el ciclo de vida de esta especie, puesto que las de vida libre siendo juveniles mantienen más tiempo en la zona pelágica que en la costera (Casale y Tucker, 2015).

En el estudio realizado por Barragán-Barreta *et al.* (2019) compararon el ancho del nicho isotópico de *Tursiops truncatus* en Bocas del Toro, Panamá (BDT) y La Guajira (región cercana al área de estudio del presente estudio), encontrando que los delfines BDT mostraron un rango de firmas isotópicas más amplio que los delfines de La Guajira. Los valores de $\delta^{13}C$ para los delfines BDT variaron entre −16,40 ‰ y − 9,17 ‰ (media = −13,11 ± 1,95 ‰), y $\delta^{15}N$ osciló entre 5,76 ‰ y 12,77 ‰ (media = 10,24 ± 1,48 ‰). En contraste, los delfines de La Guajira tuvieron valores de $\delta^{13}C$ en un rango más corto, entre −16.44 ‰ y − 15.26 ‰ (media = −15.71 ± 0.41 ‰), y el $\delta^{15}N$ también tuvo un rango más corto entre 10.90 ‰ y 14.85 ‰ (media = 12.30 ± 1,26 ‰).

Al comparar las firmas isotópicas de los delfines de La Guajira con los datos de la tortuga caguama del presente estudio, se observaron valores menores en las tortugas (media = 9,45 ±0,679 ‰), dado seguramente al consumo de items de menor posición trófica en

contraste a la dieta de un predador tope como el delfín nariz de botella. En contraste, las firmas isotópicas de carbono de las tortugas caguama (media = -17,99±0.583 ‰) sí reflejaron valores similares a los delfines, sugiriendo que las presas consumidas tanto por los delfines y las tortugas pueden tener un origen de productividad primaria similar en el Caribe, y potencialmente podrían provenir de la misma área. Lo anterior nos podría brindar una comparación más cercana con proporciones isotópicas obtenidas en un área de estudio más cercana a la región de Santa Marta en el departamento del Magdalena

Barnes *et al.* (2008) enunciaron que la variabilidad inherente entre individuos criados con una dieta controlada es a menudo equivalente a una gran proporción de la variabilidad observada entre individuos silvestres. En tales casos, la variabilidad inherente en los valores isotópicos puede confundirse con la variación en la estrategia de búsqueda de alimento entre los individuos, lo que puede resultar en una sobreestimación del ancho del nicho o la diversidad de la dieta de una población (Bearhop *et al.,* 2004). Dado que se sabe que la variabilidad inherente depende de las especies, las etapas del ciclo de vida y el medio ambiente, la varianza de isótopos específicos de tejido debe cuantificarse, si los estudios de isótopos estables tienen como objetivo proporcionar información sobre el estado trófico y ancho de nicho de una población (Post, 2002). Con base en ese enfoque, Post (2002) no muestra diferencias significativas en la varianza de $^{15}N$ entre animales de laboratorio y de campo, usando 53 observaciones de una variedad de organismos acuáticos y terrestres que varían en tamaño desde copépodos hasta osos polares. Sin embargo, el autor sí obtuvo una mayor variación en fraccionamiento de carbono ($\delta^{13}C$) en los animales criados en laboratorio que, en sus animales salvajes, según 103 observaciones de sus propios estudios y de la literatura. Es así como los resultados logrados en este trabajo, en condiciones de levante “controladas” bajo cuidado humano, también pueden brindar una lucidez de cómo sería el comportamiento de los organismos a nivel isotópico de *C. caretta* en el medio natural. De esta manera, se podría inferir que, aunque las tortugas marinas y específicamente *C. caretta* tengan los mismos hábitos alimentarios o ingieran la misma dieta, la asimilación que tiene ésta en sus tejidos puede diferir, debido a factores como el origen de sus poblaciones (genético), sitios de alimentación, tallas, etc.

López-Mendilaharsu *et al.* (2005) y Guillis *et al.* (2018) hallaron en sus investigaciones que un factor relevante a considerar en el medio natural es la disponibilidad de recursos, 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 evidencian entre dietas debido a esta diversidad de ítems alimenticios (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; Gillis *et al.,* 2018), e inclusive pueden evitar especies que se presentan en grandes cantidades en el medio (Seminoff *et al.,* 2002; González-Ramos y Santos-Baca, 2005). Por estas razones, se ha sugerido que el comportamiento de las tortugas reportado en este estudio podría deberse tanto a la disponibilidad como a la calidad de sus presas (Whiting y Miller, 1998; Villegas-Nava, 2006). En el caso del isótopo de nitrógeno, se obtuvieron diferencias entre los grupos, dado que, aunque tuvieran la misma disponibilidad de recursos, cada nido y posiblemente cada individuo, presentaba una selección de presas, como se ha demostrado en diferentes estudios etológicos desarrollados en el ProCTMM (e.g., Monterrosa y Salazar, 2005; Araque, 2020).

Otros factores que han sido sugeridos como determinantes en la selección de la dieta por parte de los organismos herbívoros (Amorocho y Reina, 2007), 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, suculencia, textura, el sabor, así como la digestibilidad de la pared celular, entre otros (Forbes, 1996). Sin embargo, el efecto que estos factores pudieran tener en el caso de las tortugas marinas hasta la fecha no ha sido estudiado a profundidad. 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 (Seminoff *et al,* 2002; Amorocho y Reina, 2007). Al tener el alimento todo el tiempo disponible en el programa de levante, solo consumen ciertas presas de manera preferente en algunas ocasiones. También se presenta un tipo de comportamiento de jerarquía, que muestra la dominancia e imposición que tiene un individuo sobre otro, debido a que involucra la acción de retirar o retraer uno o varios individuos que se encuentren en su espacio y así poder ocupar su lugar (Vaz-Ferreira, 1984). Esta imposición se observó principalmente cuando las tortugas asumían que las iban

a alimentar o cuando realmente se presentaban los horarios para suministrar el alimento (Araque, 2020). Con base en ello, se presume que el comportamiento que presentan los individuos de *C. caretta* en cautiverio del ProCTMM, puede repercutir en la asimilación que tiene la dieta en sus tejidos y extrapolarse a como es esta asimilación en el medio natural.

Los procesos físicos y biológicos que conducen a distribuciones contrastantes de isótopos estables naturales pueden proporcionar una valiosa herramienta para los ecologistas que estudian la fisiología animal; sin embargo, su aplicación e interpretación no están exentas de desafíos. La interpretación de patrones de isótopos estables en el campo proporciona otro ejemplo más de cómo la investigación en ecología y fisiología están inextricablemente vinculadas (Gannes *et al.,* 1997). La facilidad con la que se pueden medir las proporciones de isótopos estables, y la promesa de la información que los datos de isótopos estables pueden proporcionar, probablemente conducirá a una explosión de su uso por los ecologistas de campo y a una avalancha de datos. La correcta interpretación de las informaciones que pueden generarse a partir de estos datos exige la realización de experimentos comparativos de laboratorio. Estos experimentos proporcionarán la base firme necesaria para establecer los límites de lo que se puede deducir de los datos de isótopos estables recogidos en el campo (Gannes *et al.,* 1997).

La relación que tienen con la dieta los valores isotópicos refleja la composición de la dieta asimilada pero no necesariamente la dieta ingerida (Phillips, 2012); por lo tanto, la amplitud de nicho isotópico puede conducir a una descripción más realista de la dieta. Esto se ve reflejado al analizar estos resultados, ya que se observa que, aunque todos los individuos de los nidos de *C. caretta* sean alimentados con la misma dieta, asimilan de forma distinta, presentándose algunas variaciones entre los grupos por razones como procedencia del nido (ya que pueden tener madres distintas con condiciones genéticas o formas de asimilar el alimento distintas), competencia por el alimento, estrés, tallas y variación inherente. Es importante destacar que, para estudios futuros se aplique la técnica de isótopos estables en otros tejidos, para estimar así los factores de discriminación de los tejidos de las tortugas marinas, ya que se tiene la ventaja de manejar su alimentación de manera controlada en un programa de levante, y de esta manera se podría evaluar la aplicabilidad del uso de aspectos de discriminación derivados experimentalmente para las poblaciones silvestres. Por ejemplo, los tejidos inertes como el tejido óseo, uñas/garras y caparazón, se conservan

mejor que los tejidos blandos como la piel, la sangre o los músculos, y pueden colectarse después de la muerte o deceso de un animal. Además, de poder identificar los ítems que más aportan a la dieta de los individuos según firmas isotópicas, y estimar cuales son de mejor “calidad” para los procesos de levante.

## 7. CONCLUSIONES

- Existen diferencias en las proporciones isotópicas del nitrógeno, entre los ocho grupos de individuos de los diferentes nidos de tortugas caguama (*Caretta caretta*), colectados en las playas de anidación en los Sectores Los Cocos- Mendiguaca – Guachaca-Don Diego (región de Santa Marta, Caribe colombiano), dispuestos al proceso de levante del ProCTMM. Por el contrario, para el carbono no se encontraron diferencias significativas, posiblemente debido a que la fuente de alimento que fue suministrada en el programa fue del mismo origen (proveniente de pescadores en las cercanías). La asimilación de los isótopos en los tejidos de cada individuo puede variar por razones intrínsecas y/o ambientales como nivel de competencia, estrés, preferencia de alimento, y condiciones del encierro.

- Los grupos 6, 7 y 8, exhibieron una amplitud de nicho >1 ‰$^2$ considerándose como dieta generalista (consumieron de todo lo que se les daba en levante) y un traslape > 70% sobre los demás grupos, mientras que los grupos 2 y 5 mostraron una amplitud de nicho muy baja < 0.3 **‰$^2$** así como un traslapo hacia los otros grupos casi nulo. Esto evidencia que, aunque hayan tenido la misma dieta suministrada, por razones como el acceso de cada individuo a los alimentos, preferencias de dieta, la competencia con otros o incluso factores genéticos, van a reflejar diferencias en la asimilación intrínseca de cada grupo.

- No se encontraron diferencias significativas para los valores isotópicos entre los grupos de tallas, ni una correlación positiva entre estas dos variables. Estos resultados sugieren que lo que se asimiló en el tejido hueso de *C. caretta* no infiere

con el tamaño de los individuos, y principalmente pudo deberse a que todos los individuos pertenecían a la misma clase de edad (juveniles).

## 8. RECOMENDACIONES

- Procurar tomar más muestras en el ProCTMM de hueso y otros tejidos, para poder llevar a cabo estudios más detallados de la dieta y cómo estos organismos la asimilan isotópicamente en sus tejidos a partir de lo suministrado, aprovechando que es posible manejar y llevar un control de sus dietas, dando paso a otras investigaciones como factores de discriminación isotópica entre tejidos. De esta manera, se podría determinar factores de discriminación para la mejor interpretación de isótopos estables de estos tejidos preservados para estudios tróficos o ecológicos.

- A futuro, posibilitar el tomar muestras directamente de los nidos (huevos), o de las madres anidantes en las playas, para ver las diferencias o correlaciones existentes en sus firmas isotópicas. Los datos de huevos podrían suministrar información de firma isotópica de las madres anidantes, y podrían eventualmente compararse con *isoscapes* a lo largo del Caribe para determinar potenciales áreas de alimentación. Incluso estos datos podrían compararse con los datos de marcaje satelital, con el fin de determinar posibles áreas de alimentación.

- Con muestras del medio natural, ya sean de juveniles o adultos in vivo, se pueden hacer aproximaciones más precisas de su ecología trófica dentro del hábitat de estas especies.

- Se sugiere tomar también muestras de las presas potenciales en el medio natural y también de las suministradas en levante, para poder hacer una comparación directa de los valores isotópicos ingeridos y si se reflejan en el tejido del consumidor, para establecer los posibles componentes de su dieta. Esto sería clave para determinar la contribución de cada ítem evaluado y posteriormente determinar las presas que más le aportan a la dieta y cuál sería de “mejor calidad”.

## 9. BIBLIOGRAFÍA


Ackerman, R.A. 1997. The nest environment and embryonic development of sea turtles. In: P.L. Lutz, J.A. Musick (Eds.). The Biology of Sea Turtles (83-106). Boca Raton. CRC Press

Alcorlo P., Redondo R., y J. Toledo. 2008. Técnicas y aplicaciones multidisciplinares de los isótopos ambientales. ISBN: 978-84-8344-103-9.

Alves-Stanley, C. and Worthy, A. 2009. Carbone and Nitrogen Stable Isotope Turnover Rates and Diet-tissue Discrimination in Florida Manatees (T*richechus manatus latirostris*). Journal of Experimental Biology. 212: p 2349:2355.

Amorocho, D. F., & Reina, R. D. 2008. Intake passage time, digesta composition and digestibility in East Pacific green turtles (Chelonia mydas agassizii) at Gorgona National Park, Colombian Pacific. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 360(2), 117-124.

Araque, L. Comportamiento de neonatos-juveniles de la tortuga marina Caretta caretta, en proceso de levante en el Acuario Mundo Marino, Santa Marta

Arcos, M., Barrero, A., Guarín, G. y P. Quintero. 2002. Establecimiento y comparaciones de características estructurales de puntos focales de anidación de tortugas marinas ya establecidos en el sector de Arrecifes Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Seminario de investigación. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 54 p.

Arthur KE, Boyle MC, Limpus CJ (2008) Ontogenetic changes in diet and habitat use in green sea turtle (Chelonia mydas) life history. Mar Ecol Prog Ser 362:303-311.

Barnes, J. D., Sharp, Z. D., and Fischer, T. P. 2008. Chlorine isotope variations across the Izu-Bonin-Mariana arc. Geology, 36(11), 883-886.

Barragán-Barrera, D. C., Luna-Acosta, A., May-Collado, L. J., Polo-Silva, C. J., Riet-Sapriza, F. G., Bustamante, P., ... & Caballero, S. (2019). Foraging habits and levels of mercury in a resident population of bottlenose dolphins (Tursiops truncatus) in Bocas del Toro Archipelago, Caribbean Sea, Panama. Marine pollution bulletin, 145, 343-356.

Batschelet, E. 1981. Circular Statistics in Biology. Academic Press, London.

Bearhop, S., Adams, C. E., Waldron, S., Fuller, R. A., and MacLeod, H. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. Journal of animal ecology, 73(5), 1007-1012.

Bernal, J. E. 2012. Seguimiento satelital de las rutas migratorias y/o residenciales de dos juveniles de tortuga carey *Eretmochelys imbricata* (Linnaeus, 1766). Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12010/1309.

Bjorndal, K. 1997. Foraging Ecology and Nutrition of Sea Turtles. In: The Biology of Sea Turtles. P: 199-231.

Bjorndal, K., B. Schroeder, A. Foley, B. Witherington, M. Bresette, D. Clark, R. Herren, M. Arendt, J. Schmid, A. Meylan, P. Meylan, J. Provancha, K. Hart, M. Lamont, R. Carthy and A. Bolten. 2013. Temporal, spatial, and body size effects on growth rates of Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta*) in the Northwest Atlantic. Mar. Biol., 160(10): 2711-2721.

Bolten, A.B. and Witherington, B.E. 2003. Loggerhead Sea Turtles. Smithsonian Institution. Washington, D.C., USA.

Bowen, B. and S. Karl. 2007. Population genetics and phylogeography of sea turtles. Molecular Ecology, 16(23), 4886-4907.

Bowen, B., W. Grant, Z. Hillis-Starr, D. Shaver, K. Björndal, A. Bolten and A. Bass. 2007. Mixed-stock analysis reveals the migrations of juvenile hawksbill turtles (Eretmochelys imbricata) in the Caribbean Sea. Mol. Ecol., 16: 49-60.

Burke, R.L. 2015. Head-starting turtles: learning from experience. Herpetol. Conserv. Biol., 10 (Symposium): 299-308.

Cardona, L., P. Campos, Y. Levy, A. Demetropoulos and D. Margaritoulis. 2010. Asynchrony between dietary and nutritional shifts during the ontogeny of green turtles (Chelonia mydas) in the Mediterranean. J Exp Mar Biol Ecol 393:83-89.

Casale, P. and Tucker, A.D. 2015. *Caretta caretta*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e. T3897A83157651.

Casale, P. and Tucker, A.D. 2017. *Caretta caretta* (amended version of 2015 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2017: e.T3897A119333622.

Ceballos, C. 1996. Plan Nacional para la Conservación de las Tortugas Marina y Continentales con Distribución en Colombia. Subdirección de Fauna, Dirección General Forestal y de Vida Silvestre, Ministerio del Medio Ambiente. Propuesta elaborada en consultoría. Santafé de Bogotá DC, 45 p

Ceballos-Fonseca, C. 2004. Distribución de playas de anidación y áreas de alimentación de tortugas marinas y sus amenazas en el Caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, 33(1), 79-99.

Chew, V. 1966. Confidence, prediction and tolerance regions for multivariate normal distribution. Journal of the American Statistical Association, 61, 605– 617.

Chillón, A. 2016. Tortuga boba (Caretta caretta, Linnaeus 1758) en el Mediterráneo Occidental.
Proyecto “headstarting” en el Oceanogràfic de Valencia. Máster Universitario en biología Marina.

Crawford, K., McDonald, R., and S. Bearhop. 2008. Aplications of stable isotope techniques to the ecology of mammals. Mammal Review 38 (1): 87-107.

Carpentier, A.S., Booth, D.T., Arthur, K.E. et al. Stable isotope relationships between mothers, eggs and hatchlings in loggerhead sea turtles Caretta caretta . Mar Biol 162, 783–797 (2015). https://doi.org/10.1007/s00227-015-2624-x

Caut S, Guirlet E, Angulo E, Das K, Girondot, M. 2008. Isotope Analysis Reveals Foraging Area Dichotomy for Atlantic Leatherback Turtles. PLoS ONE 3(3): e1845. doi:10.1371/journal.pone.0001845.

DeNiro, M.J., Epstein, S., 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochim. Cosmochim. Acta 45, 341–351.

Eckert, K. 2000. Diseño de un programa de conservación. Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. En: Eckert, K.L., K.A. Bjorndal, F.A. Abreu-Grobois y M. Donnelly eds. UICN/CSE Grupo Especialista en Tortugas Marinas Publicación No. 4, 2000.

Forbes, G. A. 1996. The diet and feeding ecology of the green sea turtle (Chelonia mydas) in an algal-based coral reef community (Doctoral dissertation, James Cook University).

Forbes, G. 2000. Muestreo y análisis de los componentes de la dieta. En: Eckert K.L., K.A. Bjorndal, F.A. Abreu-Grobois y M. Donnely eds. Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. Grupo de Especialistas En tortugas Marinas UICN/CSE Publicación 4: 165-170.

Franco, C. y J. Hernández. 2017. Análisis de haplotipos de la tortuga cabezona *Caretta caretta* (Testudines: Cheloniidae) en dos playas del Caribe colombiano. Revista LASALLISTA de investigación - Vol. 14 No 2 - 2017.

Gannes, L. Z., O'Brien, D. M., & Del Rio, C. M. (1997). Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments. Ecology, 78(4), 1271-1276.

Gillis, A. J., Ceriani, S. A., Seminoff, J. A., & Fuentes, M. M. (2018). Foraging ecology and diet selection of juvenile green turtles in the Bahamas: insights from stable isotope analysis and prey mapping. Marine Ecology Progress Series, 599, 225-238.

Godley, B., Thompson, D., Waldron, S. and R. Furness. 1998. The trophic status of marine turtles determined by stable isotope analysis. Mar Ecol Prog Ser 166:77284.

Godley, B., Broderick, A., Frauenstein, R., Glen, F. and C. Hays. 2002. Reproductive seasonality and sexual dimorphism in green turtles. Mar Ecol Prog Ser 226:125133.

Godley BJ, Barbosa C, Bruford M, Broderick AC and others. 2010. Unravelling migratory connectivity in marine turtles using multiple methods. J Appl Ecol 47:769–778.

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.

Hatase, H., Takai, N., Matsuzawa, Y., Sakamoto, W., Omuta, K., Goto, K., Arai, N., Fujiwara, T., 2002. Size-related differences in feeding habitat use of adult female loggerhead turtles Caretta caretta around Japan determined by stable isotope analyses and satellite telemetry. Mar. Ecol. Prog. Ser. 233, 273–281.

Hatase, H., Sato, K., Yamaguchi, M., Takahashi, K., Tsukamoto, T., 2006. Individual variation in feeding habitat use by adult female green sea turtles (Chelonia mydas): are they obligately neritic herbivores? Oecologia 149, 52–64.

Hernández, L. 2015. Evaluación de la variabilidad genética mediante Marcadores moleculares mitocondriales en juveniles de Tortugas marinas *Caretta caretta* dispuestos a procesos de levante e introducción en el Caribe colombiano. Trabajo de grado para optar por el título de Bióloga Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Hobson, K., Alisauskas, R., and Clark, R. 1993. Stable-Nitrogen Isotope Enrichment in Avian Tissues Due to Fasting and Nutritional Stress: Implications for Isotopic Analyses of Diet. The Condor, 95(2), 388-394.

Hobson, K.A., 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. Oecologia 120, 314–326.

Jackson AL, Inger R, Parnell AC, Bearhop S. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. J Anim Ecol. 80(3):595-602.

Jaeger, A., Blanchard, P., Richard, P., and Cherel, Y. 2009. Using carbon and nitrogen isotopic values of body feathers to infer inter-and intra-individual variations of seabird feeding ecology during moult. Marine biology, 156(6), 1233-1240.

Kaufmann, R. 1973. Biología de las tortugas marinas *Caretta caretta* y *Dermochelys coriacea*, de la costa Atlántica colombiana. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. XIV, N° 54, Bogotá, D. E. Pp: 67-80

Kelly, J. 2000. Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. Canadian Journal of Zoology 78: 1-27.

Layman, C. A., Arrington, D. A., Montaña, C. G., & Post, D. M. 2007. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? Ecology, 88(1), 42-48.

Lee-Thorp JA, Scaly JC, van der Merwe NJ. 1989. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. J. Archaelogical Sci. 1989;16:585–599.

León, Y. y K. Björndal. 2002. Selective feeding in the hawksbill turtle, an important predator in coral reef ecosystems. Mar. Ecol. Prog. Ser., 245: 249-258.

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., Gardner, S., Seminoff, J. and R. Riosmena-Rodríguez. 2005. Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific coast of the Baja California peninsula, Mexico. Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst 15:259-269.

Martínez del Rio, C., Wolf, N., Carleton, S. and L. Gannes. 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. Biol Rev Camb Philos Soc 84: 91-111.

Marrugo., Y. y A. Vásquez. 2001. Aspectos reproductivos de la tortuga "gogo" *Caretta caretta* (Linnaeus 1758) en las playas de Quintana, Don Diego, Buritaca, Guachaca y Mendiguaca, Caribe Central de Colombia. Informe preliminar, p: 90-98.

McCormick, A. 1997. Porque ellas también tienen derecho a seguir dejando huella. Diagnóstico actual de las tortugas marinas del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Fase II. Corporación para el desarrollo sostenible del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, CORALINA. San Andrés, Colombia, 67 p.

McCormick, A. 1998. Diagnóstico actual de las tortugas marinas del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Corporación para el desarrollo sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, CORALINA. San Andrés, Colombia, 41 p.

McCutchan, W. M. Lewis, C. Kendall, C. C. McGrath. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. Oikos. 2003, 102, 378–390. doi:10.1034/j.1600-0706.2003.12098.x.

Miller, J. 1997. Reproduction in sea turtles. En: Lutz P.L. & J.A. Musick eds. The Biology of Sea Turtles. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 51.

Minagawa, M., Wada, E., 1984. Stepwise enrichment of 15N along food chains: further evidence and the relation between δ15N and animal age. Geochim. Cosmochim. Acta 48, 1135–1140.

Ministerio del Medio Ambiente de Colombia-MNA. 2000. Plan de acción para la conservación de las tortugas marinas en el Caribe colombiano. Dirección General de Ecosistemas. Documento manuscrito, 102 p.

Ministerio del Medio Ambiente de Colombia-MNA. 2002. Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas y Continentales de Colombia. Imprenta Nacional, Primera Edición, Bogotá, Colombia, 63 p.

Moein, S., R. Mellgren and J.A. Musick. 2003. Visual acuity of juvenile Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta):* A behavioral approach. Int. J. Comp. Psych., 16: 143-155.

Monterrosa, M.C. y M.F. Salazar. 2005. Levante de neonatos de *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) y su proceso de adaptación al medio natural, Santa Marta, Colombia. B.Sc. Thesis, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 196 p.

Montoya, J. 2007. Natural abundance of $^{15}N$ in marine planktonic ecosystems. En: R. Michener y K. Lajtha, eds. Stable isotopes in ecology and environmental science. Balckwell Publishing, Oxford, UK 176-201

Mortimer, J.A and Donnelly, M. (IUCN SSC Marine Turtle Specialist Group). 2008. *Eretmochelys imbricata*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2008: e.T8005A12881238.

Mrosovsky, N. 1988. Pivotal temperatures for loggerhead turtles (Caretta caretta) from northern and southern nesting beaches. Canadian Journal of Zoology, 66:661-669 pp.

Newsome, S. D., Koch, P. L., Etnier, M. A., & Aurioles-Gamboa, D. 2006. Using carbon and nitrogen isotope values to investigate maternal strategies in northeast Pacific otariids. Marine Mammal Science, 22(3), 556-572.

Newsome, S. D., Martinez del Rio, C., Bearhop, S., and Phillips, D. L. 2007. A niche for isotopic ecology. Frontiers in Ecology and the Environment, 5(8), 429-436.

Pabón-Aldana, K., C.L. Noriega-Hoyos and G.A. Jaúregui. 2012. First satellite track of a head-started juvenile Hawksbill in the Colombian Caribbean. Mar. Turt. Newsl., 133: 4-7.

Pelegrín, E. and I. Fraga. 2002. Breeding of Hawksbill Turtle *Eretmochelys imbricata* with artificial food. 185-187. In: Mosier, A., A. Foley and B. Brost (Eds.). Proc. 20th An. Symp. Sea Turtle Biol. Cons. NOAA Techn. Mem. NMFS-SEFSC-477. Miami.

Peterson, B., Howarth, R. y R. Garritt. 1985. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. Science. 227: 13611363.

Peuke, A., Gessler, A. y Rennenberg, H. 2006. The effect of drought on C and N stable isotopes in different fractions of leaves, stems and roots of sensitive and tolerant beech ecotypes. Plant, Cell and Environment, 29(5), 823–835.

Phillips, D. L. 2012. Converting isotope values to diet composition: the use of mixing models. Journal of Mammalogy, 93(2), 342-352.

Pinzón B., y P. Saldaña. 1999. Conservación de tortugas marinas en el departamento del Magdalena, Caribe colombiano. Pp: 72-78. En: Memorias del II Taller Internacional sobre Conservación y Biología de Tortugas Marinas en Colombia.

Ponton S., Dupouey J.-L., Bréda N., Feuillat F., Bodénès C. & Dreyer E. (2001) Carbon isotope discrimination and wood anatomy variations in mixed stands of Quercus robur and Quercus petraea. Plant, Cell and Environment 24, 861–868

Post, DM. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. Ecology 83:703–718.

Post, D., Layman, C., Arrington, D., Takimoto, G., Quattrochi, J., and Montaña, C. 2007. Getting to the Fat of the Matter: Models, Methods and Assumptions for Dealing with Lipids in Stable Isotope Analyses. Oecologia, 152(1), 179-189.

Pritchard E.S. & Guy R.D. (2005) Nitrogen isotope discrimination in white spruce fed with low concentrations of ammonium and nitrate. Trees 19, 89–98.

Putman, N. F., Abreu-Grobois, F. A., Broderick, A. C., Ciofi, C., Formia, A., Godley, B. J., … Williams, N. 2014. Numerical dispersal simulations and genetics help explain the origin of hawksbill sea turtles in Ascension Island. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 450, 98–108. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.10.026

Quintero, A. 2015. Aplicación de Marcadores mitocondriales en juveniles de *Caretta caretta* del Programa de Conservación de Tortugas Marinas –PROCTM- del Caribe colombiano. Trabajo de grado para optar por el título de Bióloga Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.

Ramírez, E. 1975. Contribución al conocimiento de "la tortuga gogo" *Caretta caretta* (L) en la costa norte colombiana "Operación Tortuga Marina" 1974-1975. Proyecto Parques Nacionales y Vida Silvestre, INDERENA, Barraquilla, 51p.

Reich, K., Bjorndal, K. y A. Bolten. 2007. The 'lost years' of green turtles: using stable isotopes to study cryptic lifestages. Biol Lett 3:712-714

Revelles, M., Cardona, L., Aguilar, A., Borrell, A., Fernández, G. and M. San Félix. 2007. Concentration of stable C and N isotopes in several tissues of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* from the western Mediterranean and dietary implications. Sci Mar 71:87–93.

Rincón, M., Rivera, D., Rodríguez, C. y J. Tello. 2001. Establecimiento y caracterización estructural de puntos focales de anidación en el sector de Arrecifes, Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Seminario de investigación. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 67 p.

Rodríguez-Barón, J. 2010. Afinidad trófica a zonas de alimentación de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de maestría, CICIMAR, La Paz, B.C.S., 65 p.

Sánchez, J. 2013. Variabilidad genética, distribución y estado de conservación de las poblaciones de tortugas terrestres *Chelonoidis chilensis* (Testudines: testudinidae) que habitan en la República Argentina.

Sarmiento-Devia, R., Jaúregui-Romero, G. y Sanjuan-Muñoz, A. 2018. Uso de alimentos comerciales en el levante de tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*, Cheloniidae). Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. 47 (2), 135-156.

Schoeninger, M. and M. DeNiro. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. Geochim Cosmochim Acta 48: 625–639.

Seminoff, J., Resendiz, A. and W. Nichols. 2002. Diet of the East Pacific green turtle, *Chelonia mydas*, in the central Gulf of California, Mexico. Journal of Herpetology. 36: 447-453.

Seminoff, J., Jones, T., Eguchi, T., Jones, D. and P. Dutton. 2006. Stable isotope discrimination ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$) between soft tissues of the green sea turtle Chelonia mydas and its diet. Mar Ecol Prog Ser 308: 271–278.

Seminoff, J., Jones, T., Eguchi, T., Hastings, M. and D. Jones. 2009. Stable carbon and nitrogen isotope discrimination in soft tissues of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*): insights for trophic studies of marine turtles. J Exp Mar Biol Ecol 381: 33-41.

Sibly, R. M., & Calow, P. (1986). Physiological ecology of animals. Blackwell Scientific Publications.

Sierzen, M. E., J. R. Keough and C. A. Hagley, 1996. Trophic analysis of ruffe (*Gymnocephalus cernius*) and white perch (*Morone americana*) in a Lake Superior coastal food web using stable isotope techniques. J. Great Lakes Res. 22: 436-443.

Stenhouse MJ, Baxter MS. (1979). The uptake of bomb $^{14}C$ in humans. In: Radiocarbon Dating (R. Berger, H. Suess, eds.), Berkeley: University of California Press, pp 324–341.

Talavera, A. 2016. Hábitos alimenticios de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) del litoral central del Quinta Roo, México: uso del δ13C Y δ15N. Tesis de grado Maestría. UNAM, México.

Tieszen, L. L., and Fagre, T. 1993. Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO 2, bone collagen, bioapatite, and soft tissues. In Prehistoric human bone (pp. 121-155). Springer, Berlin, Heidelberg.

Trujillo-Arias, N. Amorocho, A. López-Álvarez A. y Luz M. Mejía. 2014. Relaciones filogeográficas de algunas colonias de alimentación y anidación de la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en el Pacífico y Caribe colombianos.

Turner, Tomaszewicz, C. N., Seminoff, J. A., Price, M., and Kurle, C. M. 2017. Stable isotope discrimination factors and between-tissue isotope comparisons for bone and skin from captive and wild green sea turtles (*Chelonia mydas*). Rapid communications in mass spectrometry: RCM, 31(22), 1903–1914.

Vander Zanden, H., Bjorndal, k., Mustin, W., Ponciano, J. and A. Bolten. 2012. Inherent variation in stable isotope values and discrimination factors in two life stages of green turtles. Physiological and Biochemical Zoology 85: 000-000.

Vaz-Ferreira, R. 1984. Etología: el estudio biológico del comportamiento animal. Secretaria general de la organización de los estados americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, USA., 591(5): 150 p.

Villegas-Nava, F. 2006. Análisis nutricional de macroalgas y pastos asociados a la alimentaron de la tortuga prieta *Chelonia myda*s (Bocourt, 1968), en Bahía Magdalena, México. Tesis de licenciatura. UABCS. México. 55p.

Wallace, B.P., Seminoff, J.A., Kilham, S.S., Spotila, J.R., Dutton, P.H., 2006. Leatherback turtles as oceanographic indicators: stable isotope analyses reveal a trophic dichotomy between ocean basins. Mar. Biol. 149, 953–960.

Wallace, B. P., DiMatteo, A. D., Hurley, B. J., Finkbeiner, E. M., Bolten, A. B., Chaloupka, M. Y., … Bourjea, J. 2010. Regional management units for marine turtles: A novel framework for prioritizing conservation and research across multiple scales. PLoS ONE, 5, e15465.

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.

Wyneken, J. 2001. The Anatomy of Sea Turtles. U.S. Department of Commerce NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-470, 1-172 pp.

Zanden, M. J. V., and Rasmussen, J. B. 2001. Variation in δ15N and δ13C trophic fractionation: implications for aquatic food web studies. Limnology and oceanography, 46(8), 2061-2066.

Zbinden JA, Bearhop S, Bradshaw P, Gill B, Margaritoulis D, Newton J, Godley BJ (2011) Migratory dichotomy and associated phenotypic variation in marine turtles revealed by satellite tracking and stable isotope analysis. Mar Ecol Prog Ser 421:291-302. https://doi.org/10.3354/meps08871

Zug, G. R., and Parham, J. F. 1996. Age and growth in leatherback turtles, *Dermochelys coriacea* (Testudines: Dermochelyidae): a skeletochronological analysis. Chelonian Conservation and Biology, 2, 244-249.

## ANEXOS

Anexo 1. Datos de valores isotópicos obtenidos por los ocho grupos (nidos provenientes de las playas de anidación de los sectores Los Cocos-Mendihuaca-Guachaca-Don Diego, región de Santa Marta, Colombia) a partir del tejido hueso de tortuga caguama (*Caretta Caretta*) con su respectiva Longitud ancha del caparazón (LCR) y Peso (g). Cada fila pertenece a un individuo, y en la primera columna se indica a que grupo de nido pertenece.

| Grupo | $\delta^{15}N$ ‰ (Air-$N_2$) | $\delta^{13}C$ ‰ (V-PDB) | Longitud largo del caparazón (LRC) | Peso (g) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 8,94 | -17,83 | 14 | 529.00 |
| 1 | 8,78 | -18,01 | 15 | 665.22 |
| 1 | 9,52 | -17,36 | 16 | 772.40 |
| 1 | 9,10 | -17,97 | 16 | 768.70 |
| 1 | 8,79 | -18,32 | 17 | 757.00 |
| 2 | 8,99 | -18,13 | 17 | 903.45 |
| 2 | 11,53 | -16,22 | 16 | 785.59 |
| 2 | 8,81 | -18,33 | 15 | 605.25 |
| 3 | 9,90 | -17,69 | 17 | 849.13 |
| 3 | 9,16 | -18,43 | 15 | 665.40 |
| 3 | 10,06 | -17,35 | 17 | 760.26 |
| 3 | 9,54 | -17,64 | 15 | 627.06 |
| 3 | 8,96 | -17,84 | 16 | 786.90 |
| 3 | 9,12 | -17,84 | 16 | 748.49 |
| 3 | 9,17 | -17,87 | 16 | 908.72 |
| 3 | 9,13 | -18,22 | 17 | 925.79 |
| 4 | 9,09 | -17,90 | 21 | 1890.20 |
| 4 | 8,89 | -18,28 | 19.5 | 1376.50 |
| 4 | 9,47 | -17,93 | 17 | 1706.60 |
| 4 | 9,04 | -18,31 | 15 | 780.50 |
| 4 | 9,13 | -17,87 | 16 | 1035.80 |
| 4 | 9,27 | -17,73 | 18.5 | - |
| 4 | 9,19 | -17,63 | 20 | 2582.50 |
| 4 | 9,13 | -18,24 | 20 | 2582.50 |
| 4 | 9,11 | -18,25 | 18 | 1093.40 |
| 4 | 9,19 | -18,63 | 21 | 490.33 |
| 4 | 7,89 | -19,35 | 18 | 1090.20 |
| 4 | 9,93 | -17,38 | 18 | 1397.25 |
| 4 | 9,55 | -17,69 | 18 | 1650.20 |
| 4 | 9,12 | -17,53 | 18 | 1609.25 |
| 4 | 9,15 | -18,05 | 17 | 1154.70 |
| 4 | 9,00 | -18,21 | 18 | 991.50 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 9,39 | -17,53 | 19 | 1580.31 |
| 4 | 8,97 | -17,76 | 16 | 991.50 |
| 4 | 8,76 | -17,91 | 18 | 1334.20 |
| 4 | 9,53 | -17,91 | 17 | 1321.10 |
| 4 | 9,13 | -17,91 | 16 | 890.70 |
| 4 | 9,98 | -17,87 | 19 | 1350.50 |
| 4 | 8,71 | -19,48 | 19 | 824.51 |
| 4 | 8,41 | -18,43 | 20 | 1250.11 |
| 4 | 9,38 | -17,22 | 16 | 743.20 |
| 4 | 9,62 | -17,33 | 16 | 620.96 |
| 4 | 9,08 | -17,93 | 18 | 846.01 |
| 4 | 9,39 | -17,77 | 16 | 735.45 |
| 4 | 9,44 | -17,61 | 15 | 645.18 |
| 4 | 10,48 | -17,38 | 19 | 1050.20 |
| 5 | 10,48 | -17,38 | 18 | 1035.59 |
| 5 | 10,05 | -17,67 | 18 | 1142.40 |
| 5 | 9,06 | -18,43 | 17 | 962.60 |
| 6 | 9,99 | -18,09 | 16 | 760.29 |
| 6 | 9,08 | -19,65 | 16 | 795.32 |
| 6 | 9,05 | -19,20 | 18 | 1155.20 |
| 6 | 8,95 | -18,04 | 17 | 775.55 |
| 7 | 11,03 | -19,15 | 15 | 616.22 |
| 7 | 10,25 | -17,54 | 17 | 785.00 |
| 7 | 9,00 | -18,59 | 16 | 699.85 |
| 7 | 10,06 | -17,77 | 18 | 1077.34 |
| 7 | 11,27 | -17,64 | 19 | 1251.13 |
| 7 | 10,09 | -17,48 | 18 | 952.11 |
| 7 | 10,34 | -17,97 | 19 | 1090.51 |
| 7 | 10,64 | -17,34 | 19 | 1191.10 |
| 7 | 9,37 | -17,52 | 20 | 1352.20 |
| 7 | 9,64 | -18,15 | 18 | 795.80 |
| 8 | 9,54 | -17,55 | 19 | 1194.10 |
| 8 | 9,67 | -19,33 | 19 | 1174.90 |
| 8 | 9,23 | -19,02 | 15 | 890.80 |
| 8 | 10,51 | -18,28 | 16 | 851.63 |
| 8 | 9,61 | -18,02 | 17 | 890.20 |
| 8 | 9,09 | -18,03 | 17 | 1080.24 |
| 8 | 8,05 | -18,03 | 16 | 1137.50 |
| 8 | 9,50 | -18,02 | 16 | 1059.13 |
| 8 | 10,76 | -17,25 | 17 | 1090.50 |

Anexo 2. Datos de valores isotópicos obtenidos para los seis grupos de tallas a partir del tejido óseo de tortuga caguama (*Caretta caretta*) con su respectiva Longitud ancha del caparazón (LCR) y Peso (g). Cada fila pertenece a un individuo, y en la primera columna se indica a qué grupo de talla pertenece.

| Grupo | Talla (cm) | $\delta^{15}N$ ‰ (Air-$N_2$) | $\delta^{13}C$ ‰ (V-PDB) | Peso (g) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 14-15 | 8,94 | -17,83 | 529.00 |
| 1 | 14-15 | 8,78 | -18,01 | 665.22 |
| 1 | 14-15 | 8,81 | -18,33 | 605.25 |
| 1 | 14-15 | 9,16 | -18,43 | 665.40 |
| 1 | 14-15 | 9,54 | -17,64 | 627.06 |
| 1 | 14-15 | 9,04 | -18,31 | 780.50 |
| 1 | 14-15 | 9,44 | -17,61 | 645.18 |
| 1 | 14-15 | 11,03 | -19,15 | 616.22 |
| 1 | 14-15 | 9,23 | -19,02 | 890.80 |
| 2 | 15-16 | 9,52 | -17,36 | 772.40 |
| 2 | 15-16 | 9,10 | -17,97 | 768.70 |
| 2 | 15-16 | 11,53 | -16,22 | 785.59 |
| 2 | 15-16 | 8,96 | -17,84 | 786.90 |
| 2 | 15-16 | 9,12 | -17,84 | 748.49 |
| 2 | 15-16 | 9,17 | -17,87 | 908.72 |
| 2 | 15-16 | 9,13 | -17,87 | 1035.80 |
| 2 | 15-16 | 8,97 | -17,76 | 991.50 |
| 2 | 15-16 | 9,13 | -17,91 | 890.70 |
| 2 | 15-16 | 9,38 | -17,22 | 743.20 |
| 2 | 15-16 | 9,62 | -17,33 | 620.96 |
| 2 | 15-16 | 9,39 | -17,77 | 735.45 |
| 2 | 15-16 | 9,99 | -18,09 | 760.29 |
| 2 | 15-16 | 9,08 | -19,65 | 795.32 |
| 2 | 15-16 | 9,00 | -18,59 | 699.85 |
| 2 | 15-16 | 10,51 | -18,28 | 851.63 |
| 2 | 15-16 | 8,05 | -18,03 | 1137.50 |
| 2 | 15-16 | 9,50 | -18,02 | 1059.13 |
| 3 | 16-17 | 8,79 | -18,32 | 757.00 |
| 3 | 16-17 | 8,99 | -18,13 | 903.45 |
| 3 | 16-17 | 9,90 | -17,69 | 849.13 |
| 3 | 16-17 | 10,06 | -17,35 | 760.26 |
| 3 | 16-17 | 9,13 | -18,22 | 925.79 |
| 3 | 16-17 | 9,47 | -17,93 | 1706.60 |
| 3 | 16-17 | 9,15 | -18,05 | 1154.70 |
| 3 | 16-17 | 9,53 | -17,91 | 1321.10 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 16-17 | 9,06 | -18,43 | 962.60 |
| 3 | 16-17 | 8,95 | -18,04 | 775.55 |
| 3 | 16-17 | 10,25 | -17,54 | 785.00 |
| 3 | 16-17 | 9,61 | -18,02 | 890.20 |
| 3 | 16-17 | 9,09 | -18,03 | 1080.24 |
| 3 | 16-17 | 10,76 | -17,25 | 1090.50 |
| 4 | 17-18 | 9,11 | -18,25 | 1093.40 |
| 4 | 17-18 | 7,89 | -19,35 | 1090.20 |
| 4 | 17-18 | 9,93 | -17,38 | 1397.25 |
| 4 | 17-18 | 9,55 | -17,69 | 1650.20 |
| 4 | 17-18 | 9,12 | -17,53 | 1609.25 |
| 4 | 17-18 | 9,00 | -18,21 | 991.50 |
| 4 | 17-18 | 8,76 | -17,91 | 1334.20 |
| 4 | 17-18 | 9,08 | -17,93 | 846.01 |
| 4 | 17-18 | 10,48 | -17,38 | 1035.59 |
| 4 | 17-18 | 10,05 | -17,67 | 1142.40 |
| 4 | 17-18 | 9,05 | -19,20 | 1155.20 |
| 4 | 17-18 | 10,06 | -17,77 | 1077.34 |
| 4 | 17-18 | 10,09 | -17,48 | 952.11 |
| 4 | 17-18 | 9,64 | -18,15 | 795.80 |
| 5 | 18-19 | 9,39 | -17,53 | 1580.31 |
| 5 | 18-19 | 9,98 | -17,87 | 1350.50 |
| 5 | 18-19 | 8,71 | -19,48 | 824.51 |
| 5 | 18-19 | 10,48 | -17,38 | 1050.20 |
| 5 | 18-19 | 11,27 | -17,64 | 1251.13 |
| 5 | 18-19 | 10,34 | -17,97 | 1090.51 |
| 5 | 18-19 | 10,64 | -17,34 | 1191.10 |
| 5 | 18-19 | 9,54 | -17,55 | 1194.10 |
| 5 | 18-19 | 9,67 | -19,33 | 1174.90 |
| 6 | >19 | 9,09 | -17,90 | 1890.20 |
| 6 | >19 | 9,19 | -17,63 | 2582.50 |
| 6 | >19 | 9,13 | -18,24 | 2582.50 |
| 6 | >19 | 9,19 | -18,63 | 490.33 |
| 6 | >19 | 8,41 | -18,43 | 1250.11 |
| 6 | >19 | 9,37 | -17,52 | 1352.20 |