

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
Ciencias de La Vida
con orientación en Biología Ambiental**

**Efecto del tamaño corporal sobre el crecimiento y uso de
hábitat de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en la
zona de forrajeo de la costa de Mayto-Tehuamixtle, Jalisco,
México**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Michael Farid Zavala Armenta

Ensenada, Baja California, México
2020

Tesis defendida por
Michael Farid Zavala Armenta

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo
Director de tesis

Miembros del comité

Dr. Jaime Luévano Esparza

Dr. Oscar Sosa Nishizaki



Dra. Patricia Juárez Camacho
Coordinadora del Posgrado en Ciencias de la Vida

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Michael Farid Zavala Armenta 2020

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.

Resumen de la tesis que presenta **Michael Farid Zavala Armenta** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Vida con orientación en Biología Ambiental.

Efecto del tamaño corporal sobre el crecimiento y uso de hábitat de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en la zona de forrajeo de la costa de Mayto-Tehuamixtle, Jalisco, México.

Resumen aprobado por:

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo
Director de tesis

La tortuga marina *Eretmochelys imbricata* (Carey) se encuentra críticamente amenazada a nivel mundial, las poblaciones del Pacífico Oriental no son la excepción. En el Pacífico mexicano se conoce poco sobre sus poblaciones, existen reportes de anidación en Jalisco, Nayarit y Guerrero y avistamiento de juveniles a lo largo de la costa Pacífico. Hasta el momento solo hay algunos estudios sobre la ecología de la especie en las áreas costeras de forrajeo del Pacífico mexicano. Este estudio se enfocó en conocer estructura poblacional, tasas de crecimiento, índice de condición corporal, duración de tiempo de residencia, uso de hábitat vertical y los cambios estructurales alométricos de las diferentes clases de tamaño de la tortuga Carey de la zona costera de Mayto-Tehuamixtle, Jalisco. De 2013 a 2020 se capturaron 79 individuos de entre 33 y 72 cm largo curvo de caparazón (LCC) (media= 41.93±0.78 cm). Dieciocho recapturas permitieron calcular tasas de crecimiento individual (TCI), media= 5.088±0.84 cm LCC/año (Min: 0, Máx: 12.37) y 2.79±0.41 kg/año (Min 1.21; Máx: 5.35). El tamaño corporal tiene un efecto sobre el crecimiento corporal: las clases de tamaño pequeñas aumentan LCC más rápido, mientras que las clases de tamaño grande aumentan de peso más rápido. Se detectó un efecto significativo de la clase de tamaño sobre el volumen ($p < .001$), las tortugas de mayor tamaño aumentaron su volumen más rápido. El índice de condición corporal poblacional 1.28±0.03 nos indica que la población se encuentra en una buena condición nutricional. Algunos individuos mostraron alto grado de residencia y fidelidad al sitio, siendo recapturadas en el mismo sitio o cercano a él, hasta 1429 días (3.97 años) después de su captura inicial. La profundidad a la que se encuentran las tortugas en el área de estudio, es independiente del LCC o del peso corporal. La costa de Mayto-Tehuamixtle es una zona de reclutamiento y desarrollo importante de tortugas Carey en el Pacífico Mexicano que requiere más estudios.

Palabras clave: Tortuga Carey, *Eretmochelys imbricata*, Tasas de Crecimiento, Uso de hábitat, Pacífico Oriental

Abstract of the thesis presented by **Michael Farid Zavala Armenta** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Life Sciences with orientation in Environmental Biology

Body size effect on the growth and habitat use of the Hawksbill Turtle (*Eretmochelys imbricata*) in the Mayto-Tehuamixtle, Jalisco, México, coastal foraging area

Abstract approved by:

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo
Thesis Director

The sea turtle *Eretmochelys imbricata* (Hawksbill) is critically endangered worldwide, the Eastern Pacific populations aren't the exception. Little is known about their populations in the Mexican Pacific, with nesting reports in Jalisco, Nayarit and Guerrero and sightings of juveniles along the Pacific coast. To date there is only a handful of studies about the species' ecology in Mexican Pacific foraging areas. The present study focused on discovering population structure, growth rates, body condition index, residence time, vertical habitat use and allometrical structural changes of the different size classes of the Hawksbill turtle inhabiting the coastal zone of Mayto-Tehuamixtle, Jalisco. A total of 79 individuals were captured from 2013 to 2020, with curved carapace length (CCL) ranging from 33 to 72 cm (mean= 41.93±0.78 cm). Eighteen recaptures allowed us to calculate individual growth rates (IGR), mean= 5.088±0.84 cm CCL/yr (Min: 0, Max: 12.37) and 2.79±0.41 kg/yr (Min 1.21; Max: 5.35). Body size has an effect on growth rates: smaller size classes increase CCL faster, while bigger size classes increase weight faster. We detected a significant effect of body size over volume ($p < .001$), turtles with a bigger size increase their volume faster. Population's body condition index 1.28±0.03 indicates that the population is in good nutritional condition. Some individuals showed a high grade of residency and site fidelity, being recaptured in the same site or close to it, up to 1429 days (3.97 years) after its initial capture. Depth at which turtles are found in the study site, is independent of CCL or body weight. The coast of Mayto-Tehuamixtle is an important recruitment and development site for Hawksbill turtles in the Mexican Pacific, and requires more studies.

Keywords: Hawksbill turtle, *Eretmochelys imbricata*, Growth Rates, Habitat Use, Eastern Pacific

Dedicatoria

A las tortugas y la madre naturaleza por ser tan maravillosa y permitirnos disfrutar de ella y explorarla, y nunca dejar de asombrarme con su belleza.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico mediante la beca de manutención (becario # 903981).

Al CICESE, al posgrado de Ciencias de la Vida y el departamento de Biología de la Conservación, por aceptarme como estudiante y por todo su apoyo mostrado a lo largo del posgrado.

Al Dr. Horacio de la Cueva, por tomar el reto, por sus consejos y por darme la libertad de descubrir mi estilo de escribir.

Al resto de mi comité, Jaime Luévano y Oscar Sosa, por sus acertados comentarios y observaciones en la escritura del proyecto, me ayudaron a mejorarlo mucho.

A mis padres y hermanos, quienes en todo momento me apoyaron y motivaron a seguir mis sueños, que pese a mis ausencias en momentos importantes me decían que siguiera, gracias, los amo.

A los buzos y pescadores de Mayto y Tehuamixtle: Puñitos, Nando, Toño, La Chiva, José Juan, El Cholo, Juan Banana, Guencho, Edgar, Zico, Rica, Choga, Raciél, Benji, El Duende, Remo, Mayín, Clinton, El Choris, El Negro y los demás miembros de la comunidad, sin ustedes este proyecto no se hubiera logrado.

Al staff del Campamento Tortuguero Mayto: Tachi, Sebastián, Eliza, Mitzi, Jordan y Tello por su apoyo en los buceos y toma de muestras.

A Israel Llamas, gracias por aceptarme en el campamento, por brindarme tu amistad, abrirme las puertas de tu casa y convertirme en parte de mi familia, por más aventuras juntos en La Paz, Morelia, Colombia, etc, gracias viejillo.

A Catherine Hart, gracias por brindarme la oportunidad de involucrarme en el mundo de las tortugas marinas, cambiaste mi vida, eres un gran ejemplo a seguir.

A Carlos Soto “Kalucha”, mi amigo desde la infancia, gracias por abrirme las puertas de tu depa a mi llegada a Ensenada y apoyarme en los primeros meses, no sé cómo le hubiera hecho sin ese parote.

A mis compañeros de maestría, gracias por todas las risas, momentos de estrés en clases, tardes de playa, borracheras y fiestas en el depa, fue un gusto coincidir con ustedes, no me puedo imaginar haberla cursado con otras personas, gracias por aguantar mis gritos, LQMYLQVT.

Al Grupo Tortuguero de las Californias por permitirnos usar los datos de captura y realizar los trámites del permiso de colecta científica: Oficio N° SGPA/DGVS/0244/20

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tablas.....	x
Capítulo 1. Introducción	
1. Antecedentes.....	5
2. Justificación.....	10
3. Hipótesis.....	11
4. Objetivos.....	12
1. Objetivo general	12
2. Objetivos específico.....	12
Capítulo 2. Metodología	
2.1 Área de estudio	13
2.2 Captura de individuos y medidas morfométricas.....	14
2.3 Análisis de datos.....	16
Capítulo 3. Resultados	
3.1 Captura de individuos y estructura poblacional.....	21
3.2 Recaptura de individuos y tasas de crecimiento.....	22
3.3 Índice de condición corporal.....	30
3.4 Fidelidad al sitio y tiempo de residencia.....	30
3.5 Uso vertical del hábitat con relación al tamaño corporal.....	31
3.6 Análisis multivariado entre la relación del tamaño corporal y el uso de hábitat vertical	32

Capítulo 4. Discusión	
4.1 Captura de individuos y estructura poblacional.....	34
4.2 Tasas de crecimiento.....	35
4.3 Índice de condición corporal.....	39
4.4 Fidelidad y tiempo de residencia.....	40
4.5 Uso de hábitat vertical con relación al tamaño corporal.....	42
4.6 Análisis multivariado entre la relación del tamaño corporal y el uso de hábitat vertical.....	44
Capítulo 5. Conclusiones.....	45
5.1 Recomendaciones.....	46
Literatura citada.....	47
Anexos.....	57

Lista de Figuras

Figura	Página
1 Ciclo de vida de las tortugas marinas.....	6
2 Ubicación geográfica de los sitios de captura en la zona costera de Mayto-Tehuamixtle, en el municipio de Cabo Corrientes, Jalisco.....	13
3 Captura de individuos mediante buceo.....	14
4 Marcaje de individuos.....	15
5 Toma de datos morfo-métricos.....	16
6 Estructura poblacional de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la zona costera de Mayto-Tehuamixtle.....	21
7 Boxplot mostrando las medianas, máximos y mínimos de LCC de los individuos de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) capturados por año de muestreo en la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	22
8 Boxplot de tasas de crecimiento individual LCC/año por clase de tamaño de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle	24
9 Tasas de crecimiento individual (TCI) promedio LCC/año de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto- Tehuamixtle, por clase de tamaño LCC.....	25
10 Boxplots representando la mediana de las TCI peso corporal de la clase 30-40 y 40-50 cm LCC de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	26
11 Diferencia en la tasa de crecimiento individual de peso corporal de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle	27
12 Correlación del volumen corporal calculado respecto al largo del individuo de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	28
13 Relación entre el tamaño corporal medido en LCC y el volumen de los individuos de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	30
14 Número de individuos de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) capturados por profundidad en la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	31
15 Representación gráfica del factor 1 versus el factor 2 de las medidas morfométricas de los individuos de tortuga Carey de la costa de Mayto-Tehuamixtle	33
16 Movimientos de la tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) MYT024 con transmisor satelita...	35

17 A) Se muestran las medidas curvas y rectas tomadas en el caparazón (LCC, LRC, ACC, ARC). B) se muestran medidas curvas tomadas en el plastrón (LP, AP, LTC) (Modificado de Pritchard y Mortimer, 2000)..... 57

18 Se muestran las medidas de circunferencia y profundidad del caparazón (Modificado de Pritchard y Mortimer, 2000)..... 58

19 Matriz de correlación entre variables morfométricas LCC, ACC, LP, AP, LTC, C y P. Se pueden observar correlaciones altas entre dichas variables..... 60

Lista de Tablas

Tabla	Página
1 Tallas promedio y mínimas de madurez sexual en Largo Curvo de Caparazón (LCC) para <i>Eretmochelys imbricata</i> en la literatura.....	7
2 Tasas de crecimiento individual (TCI) LCC cm/año de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) reportadas en la literatura	8
3 Análisis de varianza entre las tasas de crecimiento LCC de las diferentes clases de edad de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	24
4 Análisis post-hoc, entre las tasas de crecimiento individual LCC/año de las diferentes clases de tamaño de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	25
5 Regresión lineal del crecimiento alométrico de tortugas Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	27
6 ANOVA de regresión lineal de crecimiento alométrico de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	28
7 Coeficientes.....	29
8 ANOVA - Volumen versus LCC de tortugas Carey de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	29
9 Comparación Post Hoc – Clase de tortugas Carey de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	29
10 Eigenvalores y varianza acumulada del Análisis de Componentes Principales (ACP) para las variables LCC, ACC, LP, AP, LTC, C, P y Profundidad de captura de tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.....	32
11 Estudios que han evaluado la tasa de crecimiento individual de peso corporal de la tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>).....	37
12 Medidas morfométricas de tortugas marinas (Balazs, 2000).....	58
13 Tabla 13. Tasas de crecimiento individual Largo Curvo de Caparazón (LCC) media por clase. Se observa que los valores mayores se presentan en la clase 30-40 cm LCC.....	59
14 Tabla 14. Media de tasa de incremento individual de peso corporal de la clase 30-40 y 40-50 cm LCC. Se observa una mínima diferencia entre las medias de crecimiento de ambas clases, sin embargo, la clase 40-50 cm LCC presenta valores mayores.....	59

Capítulo 1. Introducción

Existen ocho especies de tortugas marinas en el mundo, divididas en dos familias (Márquez, 1996, Meylan y Meylan, 2000, Pritchard y Mortimer, 2000).

Familia Cheloniidae: Golfina (*Lepidochelys olivacea*), Lora (*Lepidochelys kempii*), Kikila (*Natator depressus*), Caguama (*Caretta caretta*), Verde (*Chelonia mydas*), Prieta (*Chelonia agassizii*) y Carey (*Eretmochelys imbricata*).

Familia Dermochelyidae: Laúd (*Dermochelys coriacea*).

México cuenta con la presencia de todas las especies, excepto la Kikila, endémica de Australia (Márquez, 1996). Todas se encuentran bajo alguna categoría de riesgo en la Lista Roja de la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (Mortimer y Donnelly, 2008). El estatus es consecuencia de su sobreexplotación para el consumo de su carne y huevos, pérdida de sus hábitats de anidación y forrajeo y pesca incidental (Márquez, 1996). Se encuentran incluidas dentro del apéndice I del CITES (Acuerdo de la Convención Internacional para el Comercio de Especies de Flora y Fauna Silvestre Amenazada) (CITES, 2008), lo cual prohíbe su comercio internacional, excepto bajo circunstancias excepcionales en las cuales se requiere autorización. En México se encuentran protegidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, bajo la categoría de Peligro de Extinción (DOF, 2010) y desde 1988, mediante un decreto presidencial, se declaró la veda total indefinida para todas las especies de tortuga marina, sus productos y derivados dentro del país (Márquez, 1996). Actualmente, su captura y manejo se encuentra permitido solamente mediante un permiso de colecta científica.

Para la protección y conservación efectiva de las tortugas marinas, es necesario conocer las tendencias poblacionales de las diferentes especies. Los estudios sobre los ambientes costeros y oceánicos donde se encuentran las tortugas marinas nos permiten comprender su demografía y distribución. Sin embargo, el papel de las tortugas marinas dentro de la estructura y función de los ecosistemas ha sido poco estudiado (Bjorndal, 2000 Seminoff *et al.*, 2002, Cuevas *et al.*, 2007). El estudio de las zonas pelágicas y bentónicas que utilizan para el forrajeo y descanso, los hábitats de reproducción y anidación, además de los corredores migratorios, deben ser prioritarios (Bjorndal, 1999). Los resultados de estos estudios nos permitirán tomar acciones de manejo y conservación adecuadas que beneficiarán a las tortugas marinas y sus ecosistemas (Bjorndal, 2000).

El método de monitoreo de poblaciones de tortuga marina más usado es el que se realiza en las playas de anidación (Meylan, 1982; Wilderman et al., 2018). A partir de la estimación del número de nidos se puede calcular el número de hembras y machos, si se conoce la proporción de sexos en vida libre (IUCN, 2001). Sin embargo, en sitios donde la sobreexplotación de hembras y sus nidos ha impedido la reproducción por mucho tiempo, y dado que las hembras anidan múltiples veces durante una temporada, dicha estimación puede presentar un margen de error considerable que resta confianza al conteo poblacional, ya que al desconocer la proporción de sexos adultos, conocemos solo la población efectiva, lo cual es bueno para demografía, pero no la real que aumenta la variabilidad fenotípica (Meylan y Donnelly, 2008). Las estimaciones de disminución de poblaciones basadas solo en el número de nidos podrían subestimar el declive de la población, ya que las tortugas juveniles en la población no son consideradas (Mortimer, 1995).

Cuantificar sólo una etapa del ciclo de vida de las tortugas marinas, la anidación, difícilmente representará el estatus real de la población, ya que solo se está evaluando menos del 0.05% del ciclo de vida de la tortuga (Cuevas et al., 2007, Mortimer y Donnelly, 2008). Esta condición hace necesario el monitoreo de tendencias en la abundancia de otros estadios, tales como inmaduros o machos adultos, aumentando así la efectividad de la estimación de sus tendencias poblacionales (Wilderman et al., 2018).

Estudios sobre uso de hábitat, dieta, área de actividad local y comportamiento en zonas de forrajeo, mediante observaciones directas que incluyen diferentes etapas de su ciclo de vida, ayudan a determinar roles ecológicos y la susceptibilidad ante amenazas (León y Bjorndal, 2002, Cuevas et al., 2007, Dunbar et al., 2008, Blumenthal et al., 2009b). Por otra parte, los estudios sobre tasas de crecimiento y duración de residencia, temporal o estacional y la descripción de estructura poblacional, son fundamentales para entender el uso del hábitat y la abundancia de las poblaciones (Bjorndal, 2000, Chacón-Chaverri et al., 2014). Este conocimiento permite estimar la calidad y vitalidad de la población (León y Diez, 1999, Bjorndal, 2000, Diez y van Dam 2002). Conocer estos aspectos clave, así como el grado de diferenciación genética entre poblaciones, contribuye al desarrollo de estrategias de conservación efectivas (Bowen, et al., 2007, Llamas et al., 2017).

Los estudios de captura-marcaje-recaptura (CMR) cercanos a la costa son una manera efectiva, confiable, de bajo costo y logística sencilla para conocer aspectos poblacionales de tortugas marinas (Hart, et al., 2016, Santos et al., 2019). Además, proveen información importante sobre demografía poblacional, tiempo de residencia y movimientos horizontales entre capturas de juveniles (van Dam & Diez 1998, Blumenthal et al. 2009a, Hart et al. 2013, Strindberg et al. 2016). Estos estudios son considerados de alta

prioridad ya que permiten el desarrollo de métodos predictivos de la tendencia y el tamaño poblacional que emplean información de fácil disponibilidad (Bjorndal, 2000). Sin embargo, no describen los movimientos de un individuo dentro del área de forrajeo, pero si permiten obtener información entre puntos, su conectividad (Hart et al., 2016).

Los estudios de CMR llevados a cabo durante un periodo de tiempo constante permiten conseguir mediciones directas de crecimiento, las cuales pueden ser usadas para realizar modelos poblacionales, obtener tasas de crecimiento y lograr la estimación del tiempo para llegar a la talla de madurez sexual (Chaloupka y Musick, 1996 Boulon, 1994, Diez y Van Dam, 2002, Avens y Snover, 2013, Bjorndal et al., 2019).). Dicha estimación nos ayuda a determinar el periodo de tiempo adecuado para establecer las medidas de conservación para evaluar la recuperación de la población (NMFS y USFWS, 1993, Bell y Pike, 2012).

A pesar del aumento de estudios en zonas de forrajeo, los esfuerzos de conservación nacional e internacional hacia las tortugas marinas se han visto limitados por los vacíos de información en la historia de vida de estas especies, demografía y ecología en etapas inmaduras (Bowen et al, 2007, Mortimer y Donnelly, 2008). Entender el grado de aislamiento entre colonias, rutas migratorias de juveniles, zonas de alimentación de juveniles y adultos, así como su origen, nos permitirá resolver los vacíos de conocimiento ecológico existente sobre poblaciones silvestres pequeñas y altamente amenazadas (Pukazhenti *et al.*, 2005, Bowen et al., 2007).

La tortuga Carey es una de las tortugas marinas más amenazadas, considerada en peligro crítico de extinción por la IUCN (Mortimer y Donnelly, 2008). Existen pocos estudios ecológicos de sus zonas de forrajeo (Cuevas et al., 2007, Bjorndal y Bolten, 2010), la mayoría centrados en las regiones del Caribe (Boulon, 1994, Van Dam y Diez, 1997, León y Diez, 1999, Amorocho, 2001, Diez y Van Dam, 2002, León y Bjorndal, 2002, Blumenthal *et al.*, 2009a, Blumenthal *et al.*, 2009b, Berube *et al.*, 2012, Rincón-Díaz *et al.*, 2012, Wood *et al.*, 2013, Chevis *et al.*, 2017) e Indo-Pacífico (Chaloupka y Limpus, 1997, Whiting y Guinea, 1998, Mortimer *et al.*, 2000, Mortimer *et al.*, 2002, Houghton *et al.*, 2003). En el Pacífico Oriental la tortuga Carey es particularmente vulnerable y la de menor presencia (Cornelius, 1982, NMFS/USFWS, 1998, Wallace et al., 2010). Según Clifton *et al.*, (1982), en décadas anteriores a los 80's era abundante, pero para el 2008 se le consideraba ausente del área (Mortimer y Donnelly, 2008, Gaos *et al.*, 2010). Su desaparición regional se asocia a la explotación de su caparazón para la fabricación de artículos como peines, aretes, joyeros y muebles (Clifton et al., 1982, Meylan y Donnelly, 1999; Mortimer y Donnelly 2008;), así como su captura incidental, la extracción de huevos y alteración de su hábitat (Gaos et al., 2010).

Aunque en México su captura y comercialización se encuentra restringida desde 1988, en otros países aún es objeto de pesca ilegal, las placas de su caparazón son utilizadas en la fabricación de artesanías y artículos de joyería, además los ejemplares juveniles y pre-adultos son comercializados disecados (Márquez, 1996). Convirtiendo a la tortuga Carey en la única especie de tortuga marina buscada principalmente por su caparazón y en segundo lugar por su carne y piel (Seminoff et al., 2012).

El estado de conservación de la tortuga Carey en el Pacífico Oriental (PO) era desconocido, pero se sabía de eventos de anidación aislados en algunos sitios de México y Centroamérica (Meylan y Donnelly, 1999). A raíz de la preocupación por la disminución de sus poblaciones en 2008 se conformó la Iniciativa Carey del Pacífico Oriental (ICAPO), que ha traído como consecuencia una mayor información regional de la especie (Gaos et al., 2010). Así se descubrieron colonias importantes desde México hasta Ecuador, lo cual ha mejorado el pronóstico de recuperación de la especie (Gaos *et al.*, 2010, Liles *et al.*, 2015). Las principales playas de anidación se concentran en El Salvador y Nicaragua, mientras que las costas de México, Panamá y Ecuador fungen como las principales zonas de alimentación para juveniles y adultos (Gaos, *et al.*, 2017a, Gaos *et al.*, 2017b, Llamas *et al.*, 2017, Gaos *et al.*, 2018).

Se ha podido observar que las poblaciones del Pacífico Oriental usan zonas de anidación y forrajeo diferentes a las usadas en otras regiones (Gaos *et al.*, 2010, Seminoff *et al.*, 2012). Por lo que se podría inferir que las tortugas Carey del Pacífico Oriental pudieran tener un rol ecológico y uso de hábitat diferente a aquellas de otras regiones (Carrión-Cortéz et al. 2013). Estas diferencias entre poblaciones de distintas regiones recalcan la necesidad de caracterizar patrones de uso de hábitat, tiempo de residencia y tasas de crecimiento específicas para cada región, permitiendo orientar las acciones de conservación pertinentes para cada situación (Liles *et al.*, 2015, Wilderman *et al.*, 2018). Existen altos niveles de diferenciación genética entre las colonias de Norteamérica y Centroamérica, por lo que las primeras deberían ser consideradas como una unidad de manejo regional diferente (Gaos *et al.*, 2018).

Los estudios regionales han demostrado que en México se observa al 60% de las tortugas Carey en hábitats de forrajeo, haciendo al país un sitio prioritario para su investigación (Gaos et al., 2010). Considerando lo anterior y debido al gran desconocimiento de tasas de crecimiento, uso de hábitat y tiempo de residencia en la región, es necesario realizar estudios en las costas del Pacífico mexicano, donde se han identificado zonas importantes de crianza y alimentación de la tortuga Carey (Nichols, 2003; Seminoff et al., 2003). Las costas del Pacífico Mexicano, conforman el límite norteño de anidación, siendo las playas de Jalisco y Nayarit las más importantes (Hart, 2016, Gaos *et al.*, 2017a, Gaos *et al.*, 2017b, Gaos *et al.*, 2018).

La única información existente para la población de Carey del Pacífico mexicano es aquella reportada por Hart (2016), Gaos *et al.* (2017a), Gaos *et al.* (2017b) y Gaos *et al.* (2018), además de avistamientos por Nichols (2003), Seminoff *et al.* (2003), Castellanos-Michel *et al.* (2006) y Ramos-Ávila *et al.* (2019). Con base en lo anterior, el presente estudio da a conocer datos sobre tasas de crecimiento individual, índice de condición corporal, estructura poblacional, tiempo de residencia, y estructura vertical de las diferentes clases de tamaño la población de tortuga Carey en la zona forrajeo Mayto-Tehuamixtle, Jalisco, México.

1.1 Antecedentes

1.1.2 Biología de la tortuga Carey

La tortuga Carey habita arrecifes de coral, pastos marinos, fondos rocosos y manglares en zonas tropicales de todo el mundo (Márquez, 1996; Mortimer y Donnelly, 2008, Gaos *et al.*, 2012b). En el Pacífico Oriental, habita desde Baja California Sur, en México, hasta las aguas de Perú (Alfaro-Shigueto *et al.*, 2010). Posee un caparazón elíptico, sus escudos imbricados, presentan manchas jaspeadas, cafés, amarillentas y rojizas, aunque la tonalidad puede variar entre regiones geográficas. Las aletas y cabeza son más oscuras que el resto del cuerpo. Ventralmente van del color crema al blanco amarillento (Márquez, 1996).

Se alimentan principalmente de esponjas marinas, tunicados y moluscos (Meylan, 1998, León y Bjorndal, 2002, Cuevas *et al.*, 2007, Berube *et al.*, 2012, Carrión-Cortéz *et al.*, 2013). Su forrajeo influencia la sucesión y competencia por espacio, ayudando a mantener la diversidad de especies en los arrecifes de coral (Meylan, 1988; Van Dam y Diez, 1997; León y Bjorndal, 2002; Bjorndal y Jackson, 2003). Durante el proceso de alimentación puede exponer el interior de esponjas, facilitando a otras especies el acceso al alimento, aumentando el impacto de la Carey en la competencia por espacio (Meylan, 1988; Jackson, 1997). Al igual que las demás especies de tortuga marina, la tortuga Carey contribuye en las cadenas tróficas marinas y costeras, mediante el transporte de nutrientes, sirven como sustrato y transporte para una gran variedad de epibiontes (Bouchard y Bjorndal, 2000, Bjorndal y Jackson, 2003). Por lo que es considerada una “especie clave”, debido a su importante papel ecológico en la conservación de zonas de arrecifes, donde no tienen especie que las reemplace (Meylan, 1988; Jackson, 1997).

De acuerdo con Márquez (1996), la tortuga Carey, al igual que las otras especies de tortuga marina, tiene un ciclo de vida complejo, cada uno de sus estadios ocupa un hábitat diferente (Figura 1). Los neonatos son dispersados por corrientes marinas hacia zonas oceánicas, resguardándose en mantos de sargazos

(Carr, 1987). Al alcanzar un tamaño de 20-32 cm Largo Curvo de Caparazón (LCC) (Figura A1 en Anexos), los juveniles migran a zonas de alimentación someras, cercanas a la costa (Carr *et al.*, 1996, Musick y Limpus, 1996; Seminoff *et al.*, 2003; Cuevas *et al.*, 2007), generalmente en regiones asociadas a sus playas de origen (Houghton *et al.*, 2003, Bowen *et al.*, 2007; Gaos *et al.*, 2017a). Este comportamiento se conoce como filopatría natal de forrajeo (Gaos *et al.*, 2017a). Posiblemente sea una estrategia para reducir la competencia por recursos (Houghton *et al.*, 2003). Sin embargo, estudios recientes sugieren que las tortugas Carey podrían tener una etapa pelágica corta, o incluso no tenerla, reclutándose a zonas costeras de forrajeo inmediatamente después de entrar al océano (Musick y Limpus, 1996; Gaos *et al.*, 2017a).

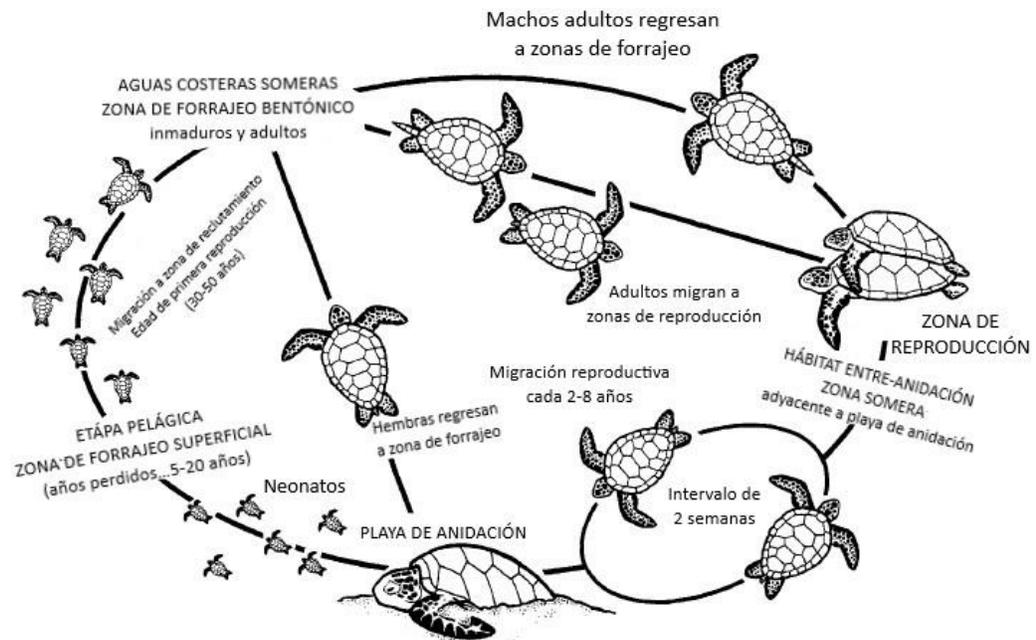


Figura 1. Ciclo de vida de las tortugas marinas (modificado de Miller, 1996)

En las áreas de forrajeo habitan arrecifes de coral, fondos rocosos, zonas de pastos marinos y algas, incluso bahías con manglar en su costa (Musick y Limpus, 1997). Los juveniles de tortuga Carey suelen mantener un alto grado de fidelidad, moviéndose distancias cortas entre sitios (van Dam y Diez, 1997; León y Diez, 1999; Witt *et al.*, 2010; Llamas *et al.*, 2017). Lo cual pudiera ser indicador de la abundancia de alimento disponible (Hart, 2016). Se ha demostrado que los adultos de tortuga Carey viajan distancias largas entre zonas de forrajeo y de reproducción (Van Dam *et al.*, 2008). En algunas zonas, adultos y juveniles comparten zonas de forrajeo (Musick y Limpus, 1997), mientras que, en otras, los organismos de clases de

tamaño grande se encuentran ausentes (Whiting y Guinea, 1998, León y Diez, 1999). Lo que podría indicar su emigración del área, concordando con el concepto de migración de desarrollo, donde las diferentes clases de tamaño utilizan diferentes zonas de alimentación (Whiting y Guinea, 1998). El tiempo de residencia en estas zonas de forrajeo dependerá de dos factores; su tasa de crecimiento y edad a la que alcancen su madurez sexual (Carrión-Cortéz *et al.*, 2013).

1.1.3 Talla de madurez sexual y tasas de crecimiento

Tanto la talla de madurez sexual como las tasas de crecimiento varían entre sitios, mostrando una gran plasticidad que puede depender del hábitat (León y Van Dam, 1999, León y Van Dam, 2002). Las tallas de madurez sexual han sido determinadas para el Caribe (Beggs *et al.*, 2007, Meylan, 2011), el Indo-Pacífico (Miller *et al.*, 2008), el Golfo Pérsico (Chatting *et al.*, 2018) y el Pacífico Oriental (Gaos *et al.*, 2017b). En la Tabla 1 se pueden observar las tallas de madurez sexual promedio y mínima.

Tabla 1: Tallas de madurez sexual en Largo Curvo de Caparazón (LCC) para *Eretmochelys imbricata* reportadas en la literatura.

Talla promedio de madurez (cm)	Talla mínima de madurez(cm)	Región	Autor
70.8 LCC	60.5 LCC	Golfo Pérsico	Chatting <i>et al.</i> (2018)
73-84.4 LCC	69.5 LCC	Pacífico Mexicano	Hart (2019, datos sin publicar)
81.5 LCC	63.5 LCC	GBC, Indo-Pacífico	Miller <i>et al.</i> (2008)
84.6 LCC	62.2 LCC	Pacífico Oriental	Gaos <i>et al.</i> (2017b)
89.7 LCC	76.27 LCC (hembras)*	Caribe	Beggs <i>et al.</i> (2007)
	74.88 LCC (machos)*		Meylan <i>et al.</i> (2011)

* Convertido de Largo Recto de Caparazón (LRC) usando fórmula en Limpus (1992).

NE = No Especificado.

Determinar la tasa de crecimiento para una población es difícil, especialmente si todas las clases de tamaño no se encuentran presentes (Limpus, 1992; Avens y Snover, 2013), ya que las tasas pueden variar

entre clases de tamaño y región (Hawkes *et al.*, 2014). La Tabla 2 muestra un resumen de las diferentes tasas de crecimiento reportadas alrededor del mundo, se puede notar que las regiones del Caribe y Océano Índico han sido mayormente estudiadas. Las tasas de crecimiento en tortugas Carey del Atlántico suelen ser mayores en las clases de tamaño más pequeñas (Mortimer *et al.*, 2000; Hawkes *et al.*, 2014). Dándose picos de crecimiento entre los 30-40 cm LCC (Diez y Van Dam, 2002, Bjorndal y Bolten, 2010, Hawkes *et al.*, 2014, Bjorndal *et al.*, 2016), disminuyendo aproximadamente 1 cm por cada 10 cm incrementados respecto al largo del caparazón (Wood *et al.*, 2013) aproximándose a un crecimiento de 0 cm/año, conforme los individuos se aproximan a la madurez sexual (Bjorndal *et al.*, 2016). Por el contrario, en el Océano Índico y Pacífico el pico en las tasas de crecimiento de las tortugas Carey, se da comúnmente entre los 50-60 cm LCC (Limpus, 1992, Chaloupka y Limpus, 1997, Mortimer *et al.*, 2002, Limpus y Low Choy, 2008, Bjorndal y Bolten, 2010). Sin embargo, Llamas *et al.* (2017) registraron un pico de crecimiento entre 30-35 cm LCC, en tortugas habitando el arrecife del Parque Nacional Coiba, en el Pacífico Panameño.

Tabla 2. Tasas de crecimiento individual (TCI) LCC cm/año de *Eretmochelys imbricata* reportadas en la literatura.

Media TCI LCC cm/año	Intervalo de TCI LCC cm/año	Talla de individuos muestreados cm LCC	Sitio de Estudio	N	Autor
1.01	-0.15 - 2.4	38 - 73.27	Océano Índico, Archipiélago de Chagos	27	Mortimer <i>et al.</i> , 2000*
HJ- 1.71±0.72 MJ -1.34±0.8	-0.72 - 3.53	39 - 85	Océano Índico, GBCs, Australia	196	Limpus y Low Choy, 2008
HJ- 1.8±0.12 MJ -1.2±0.15	0.25 - 2.2	39 - 85	Océano Índico, GBCs, Australia	68	Chaloupka y Limpus, 1997
2	NE	NE	Pacífico Oriental, Colombia	6	Tobón-López <i>et al.</i> , 2014
2.03±0.05	-0.31 - 7.19	23.7 - 65	Caribe, Barbados	504	Krueger <i>et al.</i> , 2011
2.4±0.76	0.5 - 5.5	32.6 - 78	Océano Índico, Atolón de Aldabra	58	Mortimer <i>et al.</i> , 2002
2.59±0.27	-1.2 - 5.82	52 - 85	Atlántico Norte, Florida	24	Wood <i>et al.</i> , 2013*
2.8	-0.78 - 7.08	30 - 75.5	Pacífico Oriental, Panamá	51	Llamas <i>et al.</i> , 2017
2.84	1.2 - 7.24	36 - 64	Atlántico Sur, Isla Ascensión	4	Weber <i>et al.</i> , 2017
3.24±0.41	2.34 - 4.6	28.8 - 64.4	Caribe, Islas Vírgenes, St. Tomás	12	Boulon, 1994*

NE	-1.11 - 9.22	20.89 - 89.84	Caribe, Puerto Rico	437	Diez y Van Dam, 2002*
NE	9.24	NE	Pacífico Oriental, México	1	Hart, 2016
3.4±0.07	0 - 14.5	28 - 84	Atlántico Sur, Brasil	793	Bellini et al., 2019
4.59	0.15 - 13.9	32.8 74	Océano Índico, Kenia	19	Watson, 2006
5.08±0.84 ES	0 - 12.37	33.5 - 75.5	Pacífico Oriental, México	18	Este Estudio
5.61±0.35	0.05 - 12.77	21.96 - 47.83	Caribe, República Dominicana	51	León y Diez, 1999*
5.93	1.97 - 16.19	25.49 - 75.73	Caribe, Bahamas	37	Bjorndal y Bolten, 2010*
9.3±0.34	2.3-20.3	22.3 - 60.5	Caribe, Islas Vírgenes, Anegada	85	Hawkes et al., 2014

* Convertido de Largo Recto de Caparazón (LRC) usando fórmula en Limpus (1992). NE = No Especificado. HJ= Hembras Juveniles. MJ= Machos Juveniles.

Los picos de crecimiento en clases de tamaños pequeñas pudieran estar explicados por un efecto compensatorio, después de pasar por retos nutricionales durante la transición entre hábitats de forrajeo oceánicos a neríticos (Bjorndal y Bolten, 2010, Bjorndal *et al.*, 2016). Mientras que los picos de crecimiento en las clases de tamaño grandes sugieren un plano nutricional más alto, resultado de una mejor calidad y cantidad de alimento disponible para las tortugas de mayor tamaño (Bjorndal y Bolten, 2010).

Efectos estacionales como variación en la temperatura ambiental, condición y abundancia de presas y prevalencia de tormentas, pueden tener un efecto en el crecimiento de las tortugas. Sin embargo, el factor de mayor importancia parece ser la ubicación. Así, conocer la calidad y uso del hábitat y la ubicación y preferencia de presas, podrían ser la clave para entender y predecir la tasa de crecimiento y tamaño de madurez sexual en las tortugas Carey (Diez y Van Dam, 2002).

1.1.4 Uso del hábitat

Las tortugas Carey de todos tamaños usan zonas con profundidades de <30 m, generalmente usando zonas someras para forrajear, rara vez desplazándose a profundidades mayores, excepto cuando descansan, lo cual puede estar influenciado por la topografía del sitio (León y Diez, 1999, Cuevas *et al.*, 2007, Hunt, 2009,

Blumenthal *et al.*, 2009a, Blumenthal *et al.*, 2009b, Parker *et al.*, 2009, Witt *et al.*, 2010, Gaos *et al.*, 2012a, Hart *et al.*, 2012, Carrión-Cortéz *et al.*, 2013, Houghton *et al.*, 2013, Wood *et al.*, 2013, Hart, 2016).

Hay discrepancia respecto a la estructura vertical entre clases de tamaño y profundidad, lo cual podría ser un reflejo del sitio (Witt *et al.*, 2010). Blumenthal *et al.* (2009), encontraron una correlación débil entre el tamaño de la tortuga y profundidad del lugar de captura, con los individuos de mayor tamaño siendo capturados en aguas más profundas. Parker *et al.* (2009), registraron que las tortugas inmaduras de Hawái usaban zonas de forrajeo más someras que los adultos, posiblemente como estrategia para reducir la competencia. Hart *et al.* (2012), marcaron tres tortugas de entre 51.9 y 69.8 cm LRC con transmisores acústicos, registrando que la tortuga de mayor tamaño, pasaba mayor tiempo cerca de receptores acústicos que se encontraban en profundidades mayores. van Dam y Diez (1997), encontraron que un tamaño corporal más grande estaba correlacionado con buceos de forrajeo más profundos, pero no con buceos de descanso. van Dam y Diez (1997) y Bowen *et al.* (2007), destacan una tendencia a usar sitios más profundos a medida que las tortugas Carey aumentan su tamaño, durante los cambios de sitios de desarrollo. En contraparte, Witt *et al.* (2010) y Wood *et al.* (2013) no encontraron relación entre el tamaño corporal y la profundidad de captura.

1.2 Justificación

La tortuga Carey es una de las tortugas marinas más amenazadas, considerada en peligro de crítico de extinción por la IUCN (Mortimer y Donnelly, 2008) y protegidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, bajo la categoría de Peligro de Extinción (DOF, 2010). Es particularmente vulnerable en el Pacífico Oriental (NMFS/USFWS, 1998, Wallace *et al.*, 2010). Esta especie ha sido sugerida como clave en los sistemas de arrecife (León y Bjorndal, 2002).

El estudio de hábitats críticos, como lo son las zonas de alimentación de la tortuga Carey, nos permite comprender la demografía y distribución de poblaciones en peligro, abarcando estadios juveniles y adultos (Bjorndal, 2000). El estudio de áreas de forrajeo es una de las prioridades de investigación que requiere atención inmediata, la suma de los esfuerzos regionales serán de gran importancia y nos ayudarán a documentar y asegurar la conectividad de sus poblaciones (Vélez-Zuazo *et al.*, 2017).

Los estudios sobre uso de hábitat, dieta, área de actividad y comportamiento en zonas de forrajeo mediante observaciones directas abarcando diferentes etapas del ciclo de vida, aclararán papeles ecológicos y su susceptibilidad ante amenazas (León y Bjorndal, 2002, Cuevas *et al.*, 2007, Dunbar *et al.*, 2008, Blumenthal *et al.*, 2009b). Por su parte, estudios sobre sus tasas de crecimiento y tiempo de residencia (temporal o estacional) y la descripción de estructura poblacional son fundamentales para entender el uso de hábitat y abundancia de las poblaciones (Bjorndal, 2000, Chacón-Chaverri *et al.*, 2014). El conocimiento de estos parámetros permite estimar la calidad y vitalidad de la población (León y Diez, 1999, Bjorndal, 2000, Diez y van Dam 2002).

El presente estudio reporta los primeros datos sobre las tasas de crecimiento individual, índice de condición corporal, estructura poblacional, tiempo de residencia y estructura vertical de las diferentes clases de tamaño de la mayor agregación de tortuga Carey reportada en el Pacífico Central Mexicano. Este estudio será comparado con el resto de las regiones donde se distribuye la tortuga Carey, contribuyendo a la elaboración de estrategias de conservación más efectivas en áreas con poco o nulo trabajo previo (Dunbar *et al.*, 2008).

1.3 Hipótesis

Ho: Las tasas de crecimiento individual (TCI) son independientes del tamaño corporal de los individuos de tortuga Carey de la zona costera Mayto-Tehuamixtle

Ha: Las tasas de crecimiento individual (TCI) son dependientes del tamaño corporal de los individuos de tortuga Carey de la zona costera Mayto-Tehuamixtle, siendo mayores en las tortugas de menor tamaño

Ho: La profundidad a la que se encuentran los individuos es independiente del tamaño corporal de los individuos de tortuga Carey de la zona costera de Mayto-Tehuamixtle.

Ha: La profundidad a la que se encuentran los individuos es dependiente del tamaño corporal de los individuos de tortuga Carey de la zona costera de Mayto-Tehuamixtle, encontrando a tortugas de mayor tamaño a mayores profundidades.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Identificar las diferencias en crecimiento y distribución vertical entre las clases de tamaño de la población de tortugas Carey en la costa de Mayto-Tehuamixtle, Jalisco, para determinar el uso de hábitat en la región.

1.4.2. Objetivos específicos

- Conocer la estructura poblacional de la tortuga Carey habitando en la zona de estudio, formando clases de tamaños con intervalos de 10 cm para correlacionarla con el hábitat.
- Registrar las tasas de crecimiento individual por clase de tamaño mediante recapturas, para comparas con otras tasas de crecimiento publicadas.
- Describir los cambios alométricos en el volumen de las diferentes clases de tamaño, para crear un mejor indicador del tamaño de la tortuga.
- Obtener el índice de condición corporal para las distintas clases de tamaño, usando la ecuación K de Fulton para determinar el estado nutricional de las tortugas Carey de la región.
- Establecer la correlación entre profundidad de captura y Largo Curvo del Caparazón.
- Determinar la correlación entre profundidad de captura y peso corporal.
- Comprobar mediante un análisis multivariado las correlaciones entre variables morfométricas y profundidad de captura.

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de estudio

La zona de Mayto-Tehuamixtle se encuentra en el municipio de Cabo Corrientes, Jalisco (20.242815 N, 105.686727 O) (Figura 2), está situada a menos de 100 km de las dos principales playas de anidación de la tortuga Carey en el Pacífico Mexicano (Hart, 2016, Gaos *et al.*, 2018), perteneciendo a la zona de transición tropical-subtropical del Pacífico mexicano. Prevalece un clima tropical seco, con una temperatura media anual de 24°C, precipitación media anual de 1.415 mm, siendo septiembre el mes más húmedo. Se caracteriza por presentar una amplia variedad de hábitats disponibles para las tortugas marinas, tales como zonas someras de playa arenosa, áreas de litoral pedregoso, acantilados, parches de zonas de arrecifes rocosos y coralinos, así como aguas abiertas. Las playas están expuestas a la influencia directa de las corrientes marinas y al oleaje, el fondo marino se caracteriza por rocas de gran tamaño de más de un metro de longitud (García-Hernández *et al.* 2014).

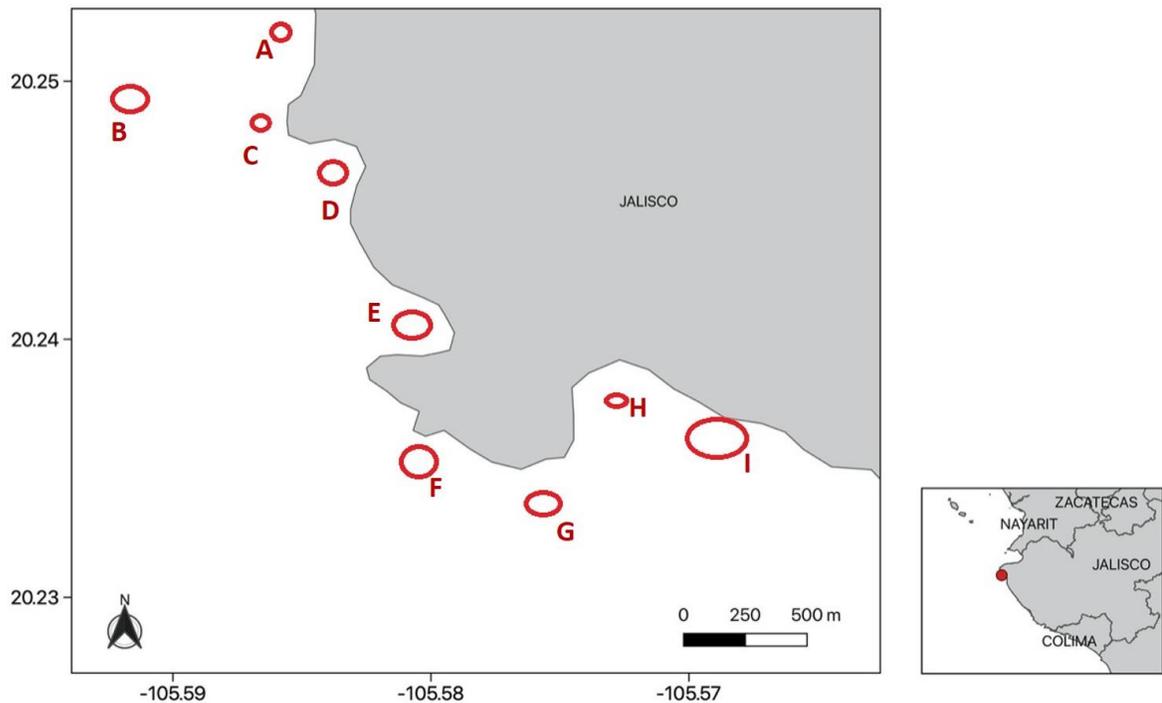


Figura 2. Ubicación geográfica de los sitios de captura en la zona costera de Mayto-Tehuamixtle, en el municipio de Cabo Corrientes, Jalisco. Los círculos rojos indican a cada sitio: (A: Campamento-piedra percebe; B: Bajo de los muchachos; C: Rocas Rinconcito; D: Playa del amor; E: Bahía Tlalpichichi; F: Faro-Bufadora; G: Piedra partida; H: Barco Hundido; I: Torrecillas).

2.2 Captura de individuos y medias morfométricas

La captura de tortugas se realizó entre los años 2013 y 2020, mediante captura manual durante buceos diurnos (Figura 3a) y nocturnos (Figura 3b) usando la técnica de Ehrhart y Ogren (2000), la cual ha probado ser altamente efectiva (Balazs y Chaloupka, 2004). Así como capturas oportunistas realizadas por pescadores de la región (Figura 3c), mediante buceos con compresor y redes de deriva. Todas las capturas fueron realizadas bajo el permiso de colecta científica con número de oficio SGPA/DGVS/0244/20. El estudio no se realizó uniformemente en todos los puntos de captura, ya que se buscó maximizar el número de capturas en los lugares más viables para bucear (Blumenthal *et al.*, 2009a). Para cada captura se registró el lugar y profundidad de captura (D). Se tomó en cuenta la profundidad máxima del sitio, la cual fue obtenida usando una ecosonda marina Lowrance HOOK 3x DSI (Figura3d), así como las cartas de navegación de la región (SEMAR, 2016).

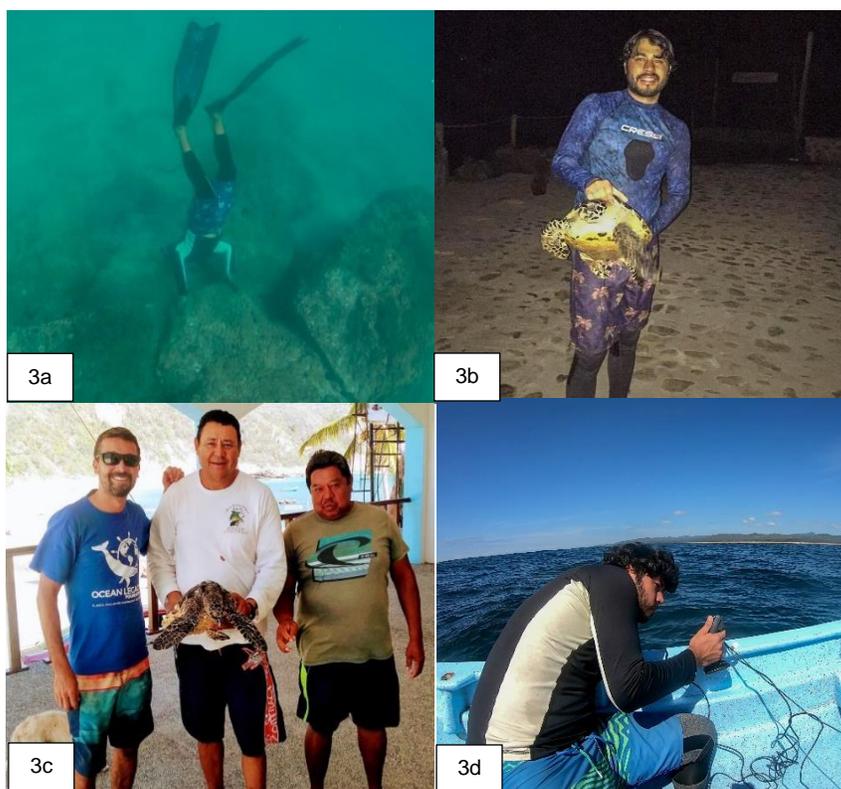


Figura 3. Captura de individuos mediante buceo; a) Buceo diurno, búsqueda de tortugas en cuevas; b) Captura de tortuga Carey durante buceo nocturno; c) tortuga Carey capturada por pescadores; d) toma de profundidad usando eco-sonda.

Las tortugas capturadas fueron transportadas al Campamento Tortuguero Mayto, donde se les colocaron dos marcas metálicas de INCONEL (INCONEL 681. National Band & Tag Company, Newport, Kentucky, EUA) entre la primera y segunda escama proximal de las aletas traseras (Figura 4a). A partir de mayo 2018, se inició el marcaje de manera subcutánea mediante el uso de un transmisor pasivo integrado (PIT), colocado en la aleta anterior izquierda (Figura 4b) con base en la metodología de Balazs (2000). Las tortugas capturadas en ocasiones posteriores con presencia de placas de identificación fueron registradas como “recapturas”, tomaron en cuenta solamente las tortugas recapturadas con un mínimo de 60 días después de su última captura (Hawkes *et al.*, 2014).



Figura 4. Marcaje de individuos; a) colocación de placas metálicas de INCONEL en aleta posterior; b) inserción de PIT en aleta anterior izquierda.

Previo a la toma de variables morfométricas, se removieron epibiontes del caparazón y plastrón de los individuos que pudieran obstruir con la toma de medidas. Posteriormente se procedió a al registro de las variables morfométricas LCCmin, LRCmin, ACC, ARC, LP, C, LTC, (Para detalles ver Figuras A1-A2 y Tabla A1 en Anexos), usando una cinta métrica para las medidas curvas (Figura 5a) y un vernier Codimex de 100 cm para las medidas rectas (Figura 5b), siguiendo el método de Bolten (2000). Además, se registró el peso corporal (P) de cada individuo, usando una balanza digital WeiHeng con precisión de ± 0.01 g (Figura 5c). Al término de las mediciones, las tortugas fueron liberadas cerca a su lugar de captura original, para minimizar el riesgo de la desorientación (van Dam y Diez, 1998a; Berube *et al.*, 2012) (Figura 5d).

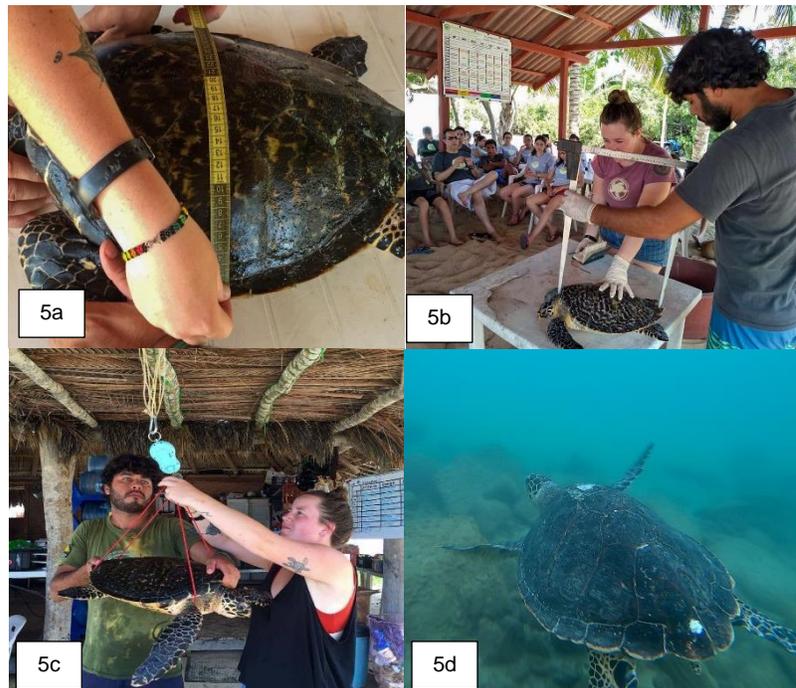


Figura 5. Toma de datos morfo-métricos; a) medición del ancho curvo de caparazón con cinta métrica; b) toma de largo recto de caparazón con vernier; c) pesaje de tortuga *Carey* usando balanza digital; d) liberación de tortuga en su sitio original de captura.

2.3 Análisis de Datos

La base de datos final, se conformó con los registros de capturas y recapturas de tortugas marinas en la zona de Mayto-Tehuamixtle. El análisis estadístico de dicha base se hizo con el programa JASP 0.13.1.0, utilizando un alpha de 0.05

2.3.1 Estructura de la población

Para determinar la estructura poblacional, los individuos capturados se agruparon según su LCC en clases de tamaño de 10 cm (Limpus, 1992, Boulon; 1994, Blumenthal *et al.*, 2009a; Bjorndal y Bolten, 2010; Hawkes *et al.*, 2014). Se obtuvo la media de LCC y ACC de 79 individuos, mientras que para la media de peso corporal solo se tomaron 71 individuos, ya que no se contaba con el peso de 8 individuos.

Se calculó la media y LCC de los individuos capturados por año (2013-2020), para determinar si las tallas de captura eran constantes a través de los años, no se tomaron en cuenta los datos obtenidos en 2012, ya que solo se contaba con la captura de un individuo. Se determinó el porcentaje de representatividad de los diferentes estadios de tamaño de *Eretmochelys imbricata* en el área calculando los porcentajes del número de individuos adultos, y sub-adultos o juveniles, usando las tallas promedio de madurez sexual reportadas para el Pacífico Oriental en Gaos *et al.* (2017b).

2.3.2 Recaptura de individuos y tasas de Crecimiento

Se determinaron tasas de crecimiento individual anual para LCC y peso corporal utilizando todas las recapturas, ya que esto produce un número mayor de medidas de crecimiento y mayor confiabilidad (Watson, 2006). En casos donde una tortuga fue recapturada más de una vez, se consideró como primera captura, los datos de la captura previa a la considerada como última captura.

Se utilizaron las siguientes formulas:

LCC:

$$\frac{(LCC_2 - LCC_1)}{T} \times 365$$

Peso corporal:

$$\frac{(P_2 - P_1)}{T} \times 365$$

Dónde:

LCC1: Largo curvo de caparazón obtenido en la primera captura

LCC2: Largo curvo de caparazón obtenido en la última captura

P1: Peso corporal obtenido en la primera captura

P2: Peso corporal obtenido en la última captura

T: Días transcurridos entre capturas

365: número de días en el año

Para ambos casos se obtuvo la media y mediana y se graficó su distribución mediante boxplots. Se realizó un ANOVA de una vía para comparar las tasas de crecimiento entre clases de tamaño, realizando una transformación logarítmica de los datos para evitar sesgos debido a la proporción de varianza a la media con el tamaño de clases. Se realizaron análisis post-hoc para conocer entre que clases hubo diferencia.

Se determinó el tiempo de residencia y fidelidad de las tortugas recapturadas, tomando en cuenta los días transcurridos entre la primera y última captura, así como el sitio en el que fueron capturadas

2.3.3. Crecimiento Alométrico/Volumen

El crecimiento alométrico de los individuos se estimó con el volumen del caparazón de los 95 individuos capturados, tomando en cuenta capturas y recapturas. Para calcular el volumen de la tortuga, se consideró al individuo como semiesférico, se obtuvo el área equivalente a una esfera y se dividió entre dos. Posteriormente se calculó su volumen, multiplicando el valor obtenido por el valor de largo curvo de caparazón (LCC) correspondiente. La fórmula se muestra enseguida:

$$\frac{(4\pi r^2)}{2} \times LCC$$

Donde:

r= radio, obtenido usando la medida de circunferencia como diámetro

LCC = valor de largo curvo del caparazón

Los valores de LCC y volumen fueron transformados a logaritmo base 10 para hacer una regresión lineal usando estos valores y un ANOVA para conocer las diferencias entre clases de tamaño respecto al volumen. Se realizaron análisis post-hoc para conocer entre que clases hubo diferencia.

2.3.4 Índice de condición corporal (ICC)

El índice de condición corporal supone un indicador que ofrece indirectamente información sobre la calidad del ambiente, así como la disponibilidad de alimento para la especie. Éste índice puede estar relacionado con el estado de salud de la población de tortugas y del ecosistema. El índice se basa en una relación entre el LRC y el peso corporal, denominada ecuación K de Fulton: $ICC = (\text{PESO CORPORAL} / \text{LRC}^3) * 10^4$ (Bjorndal y Bolten, 2010). En los casos donde no se tenía el dato de LRC, este fue obtenido mediante la conversión del LCC, usando la fórmula en Limpus (1992). Se estimaron los índices de condición corporal para todos los individuos, obteniendo el promedio general de la población, así como por clase de tamaño, y año.

Para conocer las posibles diferencias entre ICC por clase y año, se llevó a cabo un ANOVA con los datos transformados logarítmicamente. Para la clase 70-80 cm LCC y el año 2017 solo se contaba con un dato, por lo que se decidió excluirlos del análisis.

2.3.5 Uso vertical del hábitat con relación al tamaño corporal

Para conocer el uso vertical del hábitat se tomó en cuenta la profundidad máxima del sitio usando las cartas náuticas elaboradas por la Secretaría de Marina. Si bien, dicha profundidad no representa la profundidad de buceo de las tortugas, esta ha sido utilizada como una aproximación para entender su comportamiento en relación a la profundidad (Carrión-Cortéz *et al.*, 2013).

Para conocer si la profundidad promedio de localización de las tortugas registradas fue estadísticamente diferente, se realizó la transformación logarítmica de los datos y se realizó un análisis de varianza. Para determinar si el tamaño corporal de las tortugas tiene un efecto sobre la profundidad de localización de las tortugas se aplicó una regresión lineal entre el LCC y la profundidad, así como entre peso corporal y profundidad.

2.3.6 Análisis multivariado

Para ver las posibles relaciones entre variables, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), así como una matriz de correlación (Figura A3 en anexos) entre variables morfométricas curvas: LCC, ACC, LTC, LP, AP, C, así como el peso corporal (P) y la profundidad de captura. Para corroborar los resultados obtenidos, se realizó un análisis de Clúster (K-means), previamente estandarizadas las variables, con el fin de evitar errores debido a la diferencia en magnitud entre las variables.

Capítulo 3. Resultados

3.1 Captura de individuos, estructura poblacional

Durante el periodo de estudio (2013-2020), se lograron 95 capturas de 79 tortugas, de las cuales 68 se capturaron una vez, seis dos veces, cuatro tres veces y una cinco veces. El largo curvo de caparazón (LCC) promedio para la primera captura fue de 41.93 ± 0.783 cm (LCC Mínimo= 33 cm; LCC Máximo = 72cm), mientras que el ancho curvo de caparazón (ACC) promedio para la primera captura fue de 36.86 ± 0.653 cm (ACC Mínimo= 28.5 cm; LCC Máximo = 64 cm). Para el peso corporal (P) promedio de la población durante la primera captura, solo se tomaron en cuenta 71 tortugas, ya que el resto no contaba con la información necesaria, se obtuvo un promedio de 8.36 ± 0.676 kg (Peso corporal mínimo = 4.1kg; Peso corporal máximo = 42.61 kg).

La población de la costa de Mayto-Tehuamixtle cuenta con 79 individuos marcados, predominando las tallas entre 30-40 cm LCC y 40-50 cm LCC. Constituido en un 100% por tallas juveniles y sub-adultas (Figura 6).

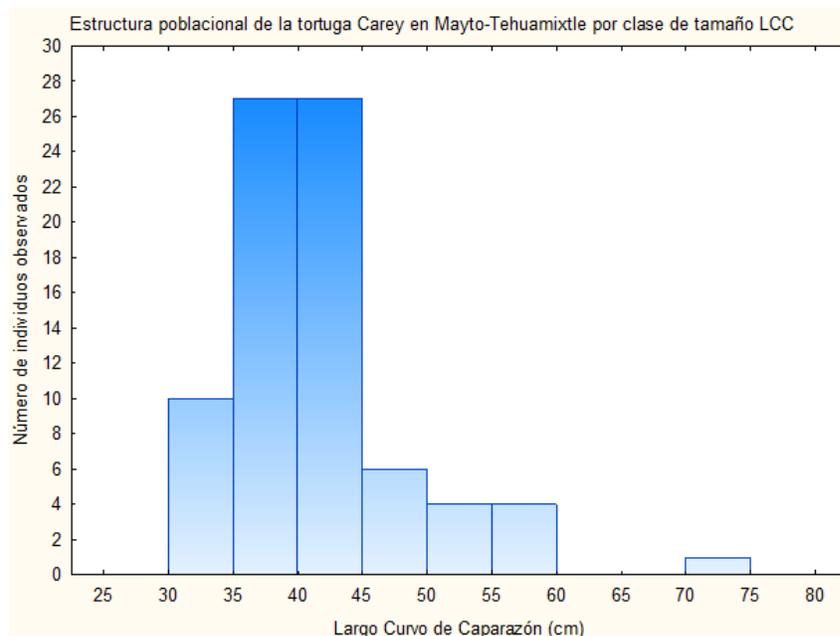


Figura 6. Estructura poblacional de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la zona costera de Mayto-Tehuamixtle. Se puede observar que gran parte de la población se encuentra entre las tallas 35-45 cm LCC, mientras que los organismos con tallas superiores a los 60 cm LCC son raras.

La mediana en las tallas LCC de los individuos capturados, se mantuvo entre los 38 y 50 cm a lo largo del periodo de estudio (Figura 7). La mayor mediana de LCC (38.5 cm) se presentó en 2018 y la menor (50.6 cm) en 2013, sin embargo, esto probablemente es un reflejo del número de capturas, ya que 2018 fue el año con mayor número de capturas y 2013 con el menor número, con 28 y 4 individuos respectivamente. Sin embargo, las tallas mínimas y máximas a través del periodo de estudio son muy similares, exceptuando 2016, año en el que fue capturada la tortuga con mayor tamaño de todo el estudio (72 cm LCC).

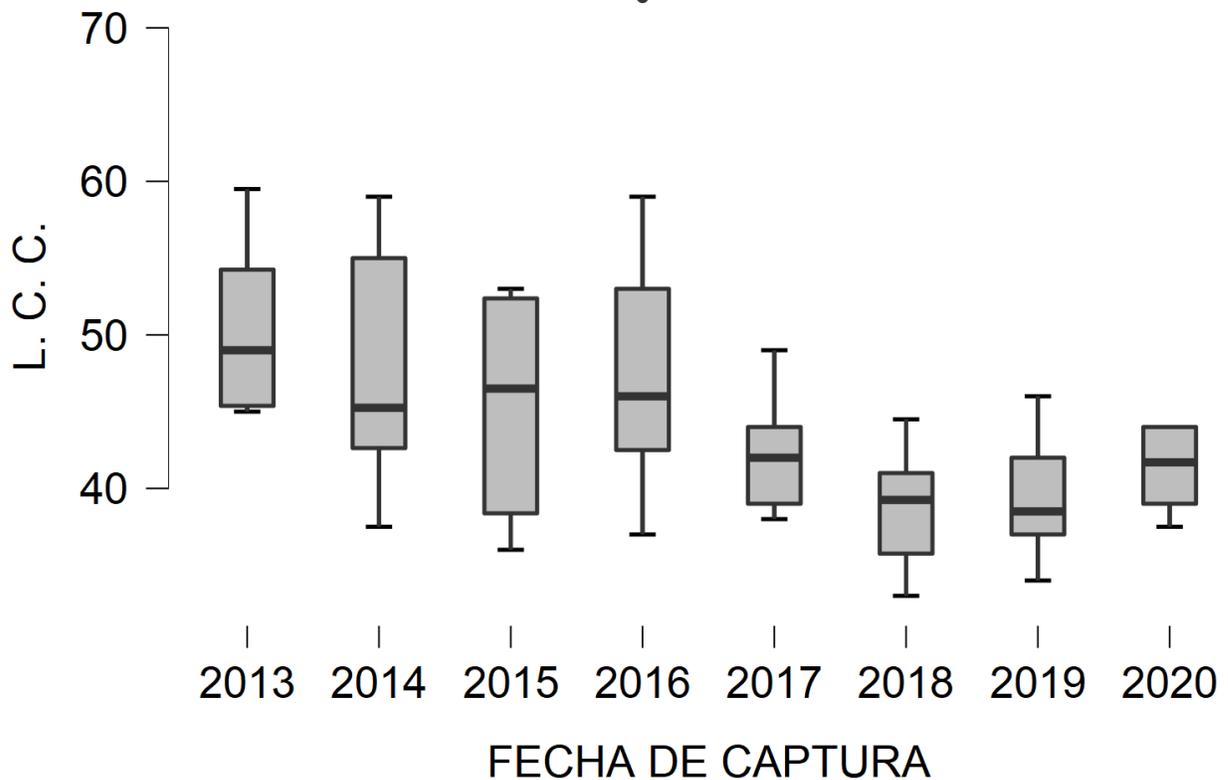


Figura 7. Boxplot mostrando las medianas, máximos y mínimos de LCC de los individuos de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) capturados por año de muestreo en la costa de Mayto - Tehuamixtle: 2013(4), 2014(6), 2015(6), 2016(7), 2017(5), 2018(28), 2019(17), 2020(5). Se puede observar que las medianas son muy similares entre años.

3.2 Recaptura de individuos y tasas de crecimiento

Registramos 18 recapturas para 12 individuos. Recapturando a uno tres veces, cuatro dos veces y siete una vez. El promedio de días transcurridos entre la primera y última recaptura fue de 509.583 ± 116.107 días (Min: 85, Máx: 1429).

Con las recapturas obtuvimos datos de crecimiento y determinamos una tasa de crecimiento individual (TCI) promedio de 5.088 ± 0.84 cm LCC/año (Min: 0, Máx: 12.37), considerando a individuos de 33.5-75.5 cm LCC. Respecto a la TCI para peso corporal, se consideraron 12 de 18 recapturas, obteniendo una TCI poblacional promedio de 2.79 ± 0.41 kg/año (Min 1.21; Máx: 5.35). En la Figura 8 y 9 se muestran los promedios de crecimiento para LCC y peso corporal por clase de tamaño, respectivamente, sin embargo, algunas clases están representadas por menos individuos, por lo que el resultado podría verse sesgado y debería ser interpretado con cuidado.

3.2.1 Tasa de crecimiento individual LCC

La Figura 8 muestran las medias y medianas, respectivamente, de TCI LCC/año por clase de tamaño LCC, donde se puede observar que la clase 30-40 cm LCC tiene la mayor media de crecimiento, con 8.08 ± 0.975 cm LCC/año, dentro de esta clase se encuentra también el individuo con el mayor crecimiento individual por año con 12.37 cm LCC/año. Por otro lado, la clase 70-80 cm LCC tuvo la menor media de crecimiento con 1.35 ± 0.4 cm LCC/año.

El ANOVA dio como resultado significativo, $p = 0.015$, lo que indica que hay una diferencia significativa entre las tasas de crecimiento de las clases de tamaño (Tabla 3), se observa un valor significativo, indicando que existen diferencias entre las distintas clases. El análisis *post hoc* no encontró diferencias significativas entre las tasas de crecimiento individual (TCI) de las clases 30-40 y 40-50 cm LCC ($p = 0.247$), así como entre la TCI de la clase 40-50 cm LCC respecto al TCI de la clase 50-60 ($p = 0.54$) y 70-80 cm LCC ($p = 0.238$). Entre las clases 50-60 y 70-80 cm LCC, la diferencia entre la TCI fue muy baja, con un valor $p = 0.89$. Sin embargo, sí hubo una diferencia significativa respecto a la TCI de la clase 30-40 cm LCC con la de la clase 50-60 cm LCC ($p = 0.053$) y aún mayor comparada con la clase 70-80 cm LCC ($p = 0.024$), ambas marcadas con un asterisco (Tabla 4).

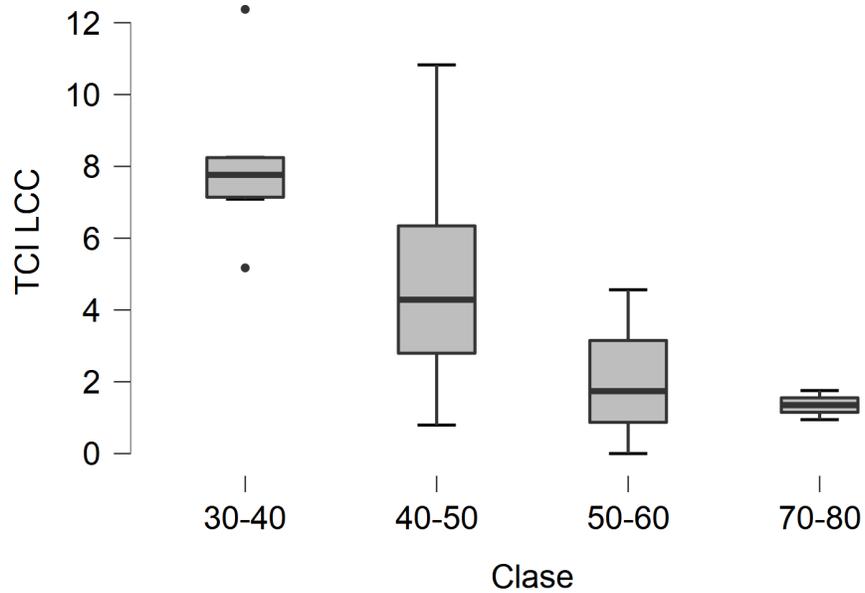


Figura 8: Boxplot de tasas de crecimiento individual LCC/año por clase de tamaño de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se puede observar que existe una mediana mayor en las clases de tamaño menores, así como que hubo poca variación en las TCI de los individuos de la clase 30-40 cm LCC. Individuos por clase: 30-40(6), 40-50(7), 50-60(3), 70-80(2).

Tabla 3. ANOVA entre las tasas de crecimiento LCC de las diferentes clases de edad de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle

Casos	Suma de Cuadrados	df	Media Cuadrada	F	p
Clase	6.688	3	2.229	4.965	0.015
Residual	6.286	14	0.449		

El ANOVA mostró que la clase de tamaño tiene un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento individual de LCC, indicando que tortugas de menor tamaño aumentan más rápidamente de tamaño longitudinalmente en comparación con tortugas de mayor tamaño, así mismo se puede observar que la tasa de crecimiento del largo curvo del caparazón va disminuyendo conforme la tortuga aumenta su tamaño (Figura 9).

Tabla 4: Análisis post-hoc, entre las tasas de crecimiento individual LCC/año de las diferentes clases de tamaño de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se observa que existe diferencia entre las TCI de la clase 30-40 cm LCC respecto a las clases 50-60 y 70-80 cm LCC.

		Diferencia Media	Err. Est	t	p tukey
30-40	40-50	0.732	0.373	1.964	0.247
	50-60	1.364	0.474	2.878	0.053*
	70-80	1.801	0.547	3.291	0.024*
40-50	50-60	0.631	0.462	1.365	0.54
	70-80	1.068	0.537	1.988	0.238
50-60	70-80	0.437	0.612	0.714	0.89

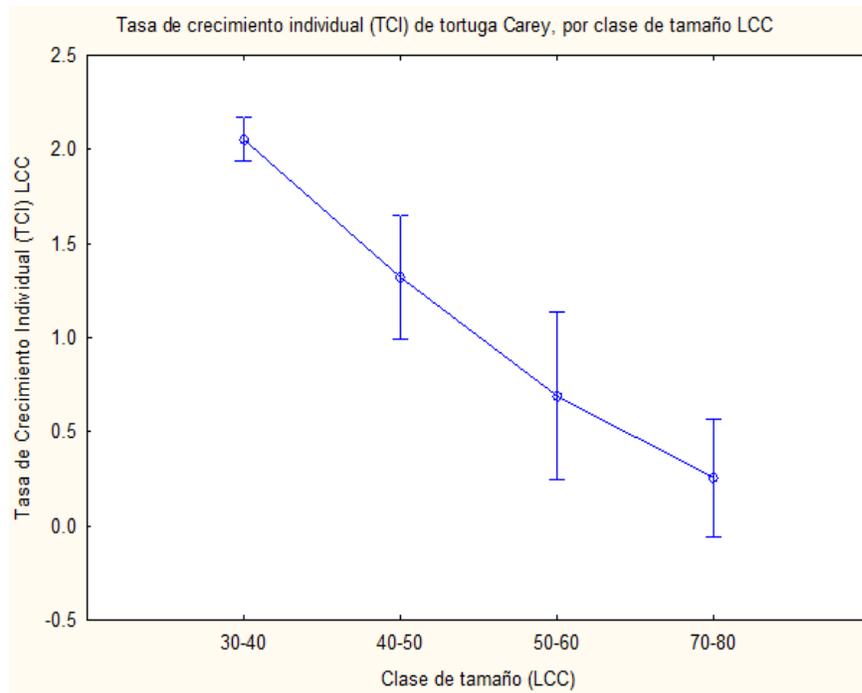


Figura 9: Tasas de crecimiento individual (TCI) promedio LCC/año de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle, por clase de tamaño. Se observa que la clase 30-40 cm LCC tiene una TCI promedio mayor, mismo que va disminuyendo conforme el tamaño corporal aumenta.

3.2.2 Tasa de crecimiento en peso corporal individual

La Figura 10 muestra la media de TCI kg/año de las clases de tamaño LCC, se puede observar que la clase 40-50 cm LCC tiene un media y mediana ligeramente mayor a la clase 30-40 cm LCC, sin embargo, los valores mínimos y máximos son muy similares.

El ANOVA no encontró diferencias significativas entre las TCI kg/año de la clase 30-40 y 40-50 cm LCC ($p=0.668$). A pesar de que el análisis de varianza no encontró diferencias significativas entre las TCI de las diferentes clases de tamaño. La Figura 10 muestra un ligero efecto del tamaño corporal respecto al aumento de peso corporal de acuerdo a la clase de tamaño, indicando que los individuos ganan mayor cantidad de peso corporal conforme aumentan de talla.

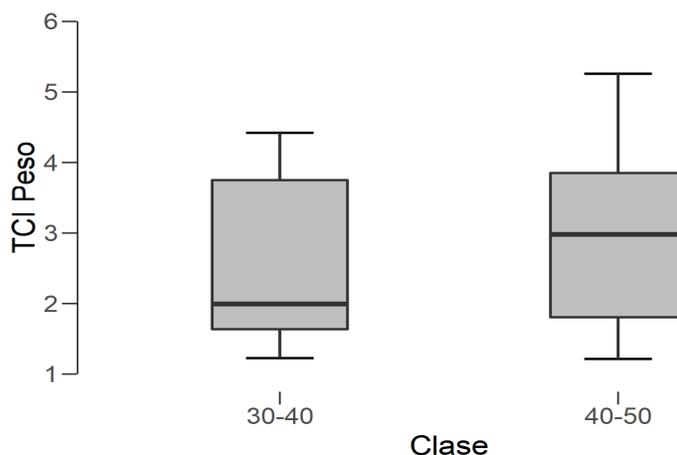


Figura 10. Boxplots representando la mediana de las TCI peso corporal de la clase 30-40 y 40-50 cm LCC de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se observa que la clase 40-50 cm LCC tiene una mediana mayor, con valores máximos mayores que los de la clase 30-40 cm LCC. Individuos por clase: 30-40(6), 40-50(6).

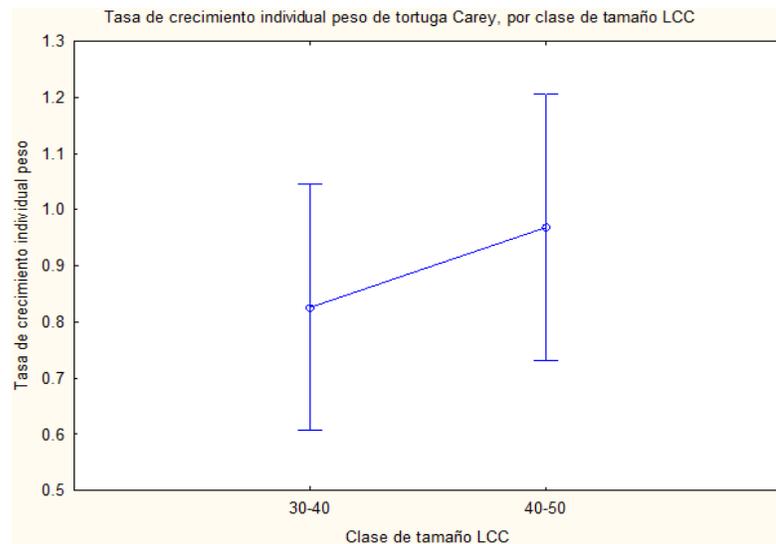


Figura 11. Diferencia en la tasa de crecimiento individual de peso corporal de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se observa que la clase 40-50 cm LCC tiene una TCI peso ligeramente mayor. Aunque la clase 50-60 y 70-80 cm LCC no se encuentran representadas, se puede observar una ligera tendencia a un mayor aumento de peso respecto al tamaño corporal.

3.2.3 Crecimiento alométrico/volumen

El análisis de regresión lineal indica que existe una correlación alta, $r = 0.977$, entre la talla en LCC y el volumen del individuo, el valor de r^2 demuestra que la talla en LCC representa el 95.5% de la varianza en el volumen del individuo (Tabla 5). La Figura 12 muestra la correlación entre el Log10 del volumen calculado de los individuos respecto al Log10 del largo curvo de su caparazón (LCC). Las tortugas con múltiples recapturas se encuentran representadas con un color distinto al negro, donde cada punto del mismo color representa una captura diferente. Se puede observar su crecimiento volumétrico respecto al largo curvo de caparazón.

Tabla 5. Regresión lineal del crecimiento alométrico de tortugas Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se observa un valor de correlación y coeficiente de regresión alto.

Modelo	R	R ²	R ² Ajustada	ECM
1	0.977	0.955	0.954	0.038

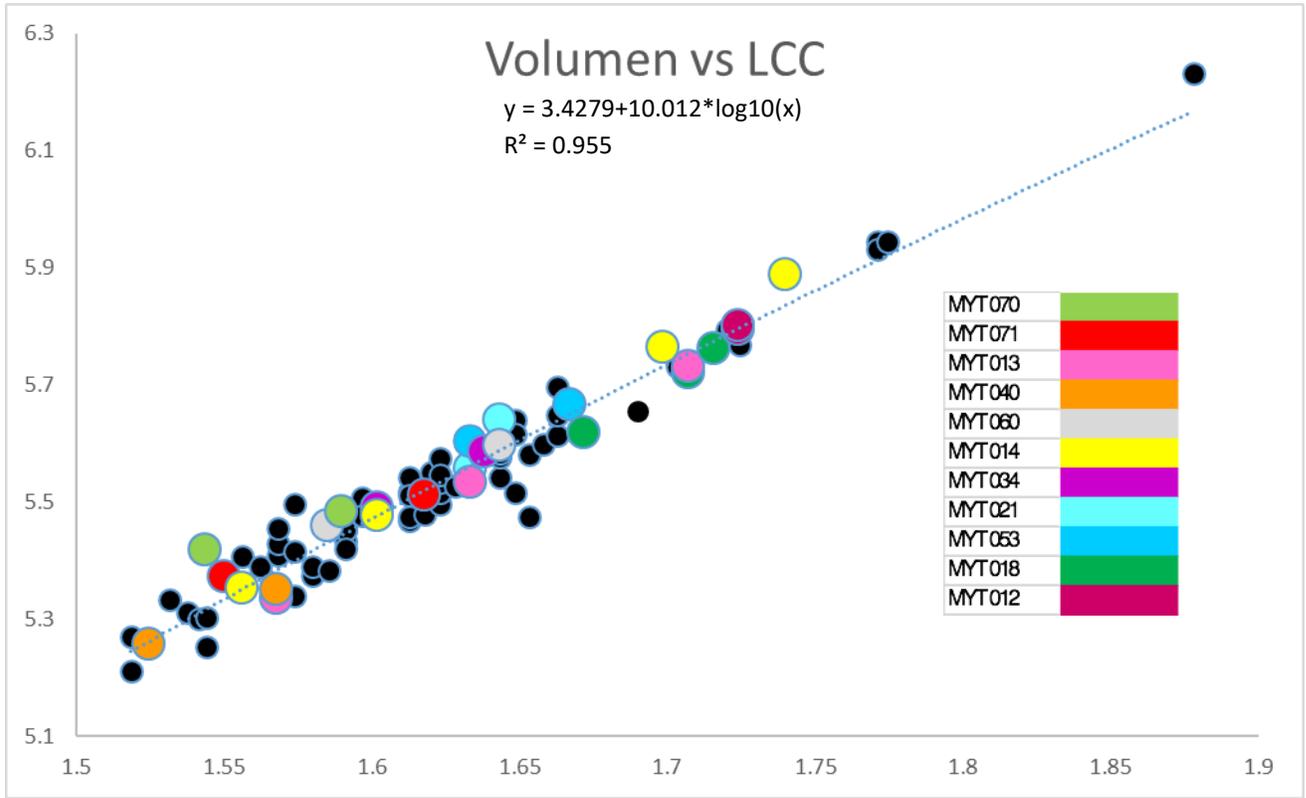


Figura 12. Correlación del volumen corporal calculado respecto al largo del individuo de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se presentan capturas iniciales y recapturas consecutivas de algunos individuos, donde se observa como el volumen aumenta conforme aumentan de tamaño en LCC.

La regresión lineal nos muestra que la talla en LCC puede predecir significativamente el volumen del individuo $F_{0.05(1)(1,90)} = 1904.218$, $p < 0.001$ con la ecuación de regresión obtenida de la Tabla 6:

Volumen del individuo = $1.252 + (2.636 * LCC)$ (Tabla 7).

Tabla 6: ANOVA de regresión lineal de crecimiento alométrico de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle.

Modelo		Suma de cuadrados	df	Media cuadrada	F	p
1	Regression	2.696	1	2.696	1904.218	< .001
	Residual	0.127	90	0.001		
	Total	2.823	91			

El ANOVA con un valor de significancia $p < .001$, lo cual indica que existe una diferencia altamente significativa entre los volúmenes de las distintas clases de tamaño (Tabla 8). Los análisis post hoc muestran valores altamente significativos entre los volúmenes de todas las clases de tamaño ($p < .001$), indicando que los volúmenes de todas las clases son muy diferentes entre sí (Tabla 9).

Tabla 7. Coeficientes

Modelo		No estandarizado	Error estándar	Estandarizado	t	p
1	(Intercept)	1.252	0.098		12.755	< .001
	Log10 LCC	2.636	0.06	0.977	43.637	< .001

Tabla 8. ANOVA - Volumen versus LCC de tortugas Carey de la costa de Mayto-Tehuamixtle.

Casos	Suma de cuadrados	df	Media cuadrada	F	p
Clase	2.389	3	0.796	161.425	< .001
Residual	0.434	88	0.005		

Tabla 9. Comparación Post Hoc – Clase de tortugas Carey de la costa de Mayto-Tehuamixtle

		Diferencia media	Error estándar	t	p _{tukey}
30-40	40-50	-0.176	0.016	-11.068	< .001
	50-60	-0.432	0.023	-19.093	< .001
	70-80	-0.851	0.071	-11.96	< .001
40-50	50-60	-0.256	0.022	-11.455	< .001
	70-80	-0.675	0.071	-9.496	< .001
50-60	70-80	-0.419	0.073	-5.748	< .001

El ANOVA nos muestra que existe un efecto altamente significativo de la clase de tamaño sobre el volumen del individuo. La Figura 13 nos indica que los individuos de clases menores tienen un volumen medio menor respecto a aquellas de clases mayores, se observa que existe un aumento del volumen total del individuo conforme aumentan su LCC.

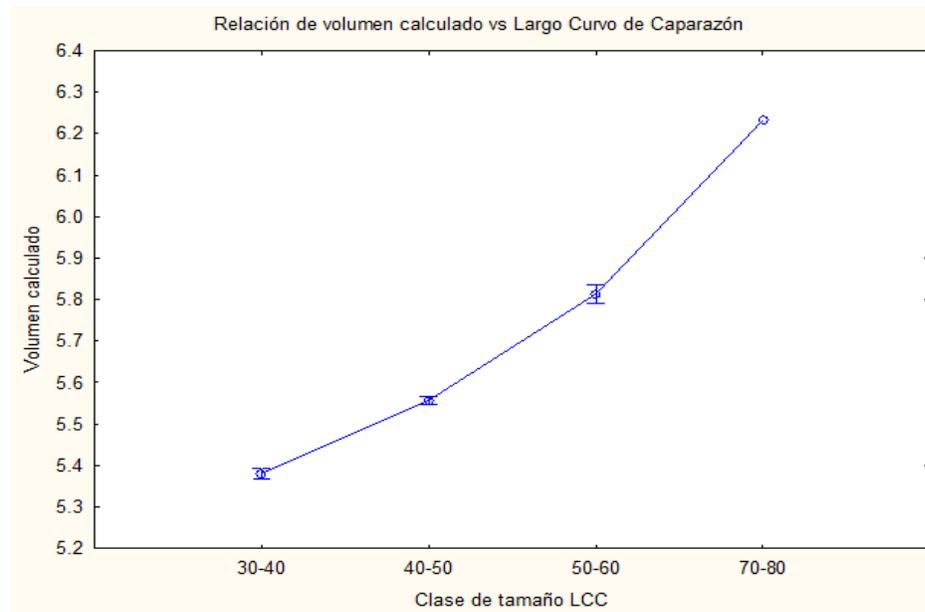


Figura 13. Relación entre el tamaño corporal medido en LCC y el volumen de los individuos de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se observa una tendencia al aumento de volumen respecto a un mayor tamaño corporal.

3.3 Índice de condición corporal (ICC)

El índice de condición corporal promedio poblacional calculado al momento de la primera captura fue de 1.28 ± 0.03 (mínimo = 0.75, máximo = 2.95). El ANOVA no detectó diferencias significativas entre el ICC de las diferentes clases de edad ($p = 0.644$), ni entre año de captura ($p = 0.155$).

3.4 Fidelidad al sitio y tiempo de residencia

La tortuga MYT014 fue capturada cuatro veces en el sitio E en un intervalo de 1429 días. La tortuga MYT013 fue capturada tres veces en el sitio H en 706 días. La tortuga MYT053 fue capturada dos veces en 631 días, ambas veces en el sitio D. Por último, la tortuga MYT024 fue capturada tres veces en 1084 días, dos veces en el sitio I y una en el sitio G, aproximadamente 400 metros de distancia, ambos sitios dentro de la bahía de Tehuamixtle (Figura 2).

3.5 Uso vertical del hábitat con relación al tamaño corporal

Las tortugas Carey de la zona de Mayto-Tehuamixtle fueron capturadas a una profundidad media de 7.55 ± 0.38 m (Min: 4.4; Max: 16) (Figura 14). La correlación fue muy baja entre la profundidad de captura y el Largo Curvo de Caparazón (LCC) ($r= 0.053$), así como con el peso corporal ($r= 0.104$). El tamaño de la tortuga medido como LCC y el peso corporal son independientes respecto a la profundidad de captura, el valor de la regresión no fue significativo (o es muy cercano a cero).

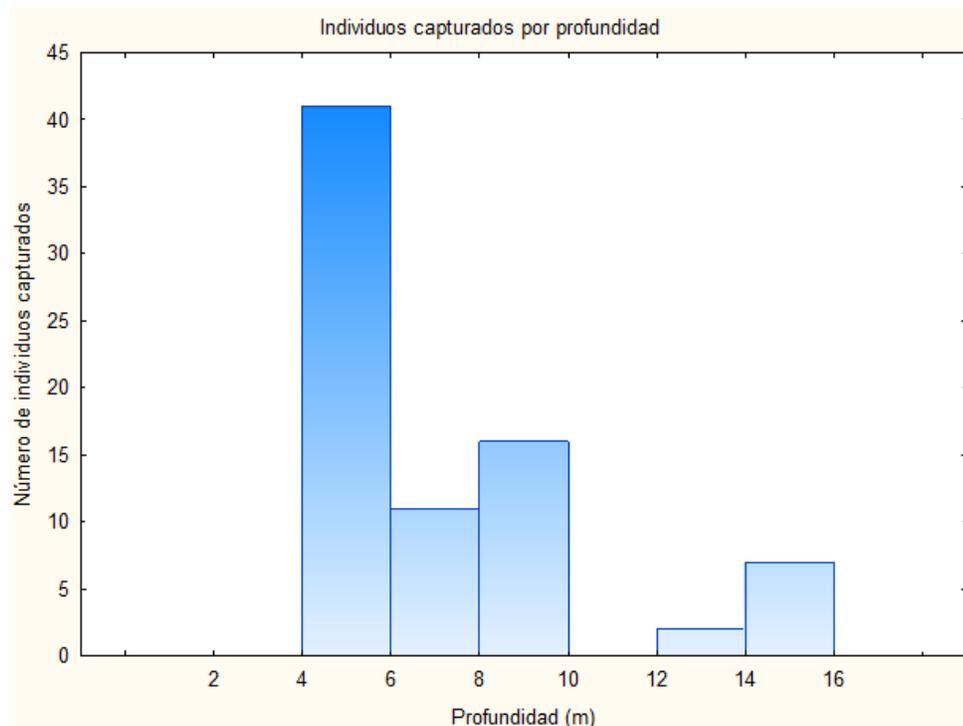


Figura 14. Número de individuos de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) capturados por profundidad en la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se puede observar que la mayor parte de los individuos fueron capturados en las profundidades menores, entre los cuatro y seis metros.

El ANOVA no encontró diferencias significativas ($p= 0.831$) entre las profundidades de captura a las que fueron encontradas las distintas clases de tamaño.

3.6 Análisis multivariado entre la relación del tamaño corporal y el uso de hábitat vertical

Para el análisis multivariado se usaron siete variables morfométricas (LCC, ACC, LP, AP, LTC, C, P) y una variable referente al uso de hábitat, la profundidad de captura, en 65 individuos. Los primeros tres factores del análisis describen el 93.9% de la variabilidad total de los datos. El factor 1 explica el 76% de la variabilidad, y se encuentra conformado por LCC, ACC, LP, AP, C y P. El factor 2 explica el 12.5 % de la variabilidad y está conformado por la profundidad de captura. El Factor 3 explica el 5.4% de la variabilidad y está conformado por LTC (Tabla 10).

Tabla 10. Eigenvalores y varianza acumulada del Análisis de Componentes Principales (ACP) para las variables LCC, ACC, LP, AP, LTC, C, P y Profundidad de captura de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se muestra que los primeros tres eigenvalores representan el 93.9% de la variabilidad, donde solo los primeros dos valores son >1, y representan en conjunto el 88.5% de la variabilidad.

No. de valores	Eigenvalor	Proporción de varianza	Varianza acumulada
RC1	6.081	0.76	0.76
RC2	1.003	0.125	0.885
RC3	0.43	0.054	0.939
RC4	0.212	0.027	0.966
RC5	0.123	0.015	0.981
RC6	0.083	0.01	0.992
RC7	0.04	0.005	0.997
RC8	0.028	0.003	1

En la Figura 15, se representan los individuos conforme a los dos componentes principales obtenidos que incorporan las variables morfométricas. Se puede observar que los individuos de la clase 30-40 cm LCC se agrupan juntos, con algunos individuos agrupándose cercanos a los de la clase 40-50 cm LCC, los cuales a su vez se encuentran agrupados juntos, con algunos individuos cercanos a aquellos de la clase 50-60 cm LCC, sin embargo, no hay coincidencias entre las clases 30-40 y 50-60 cm LCC.

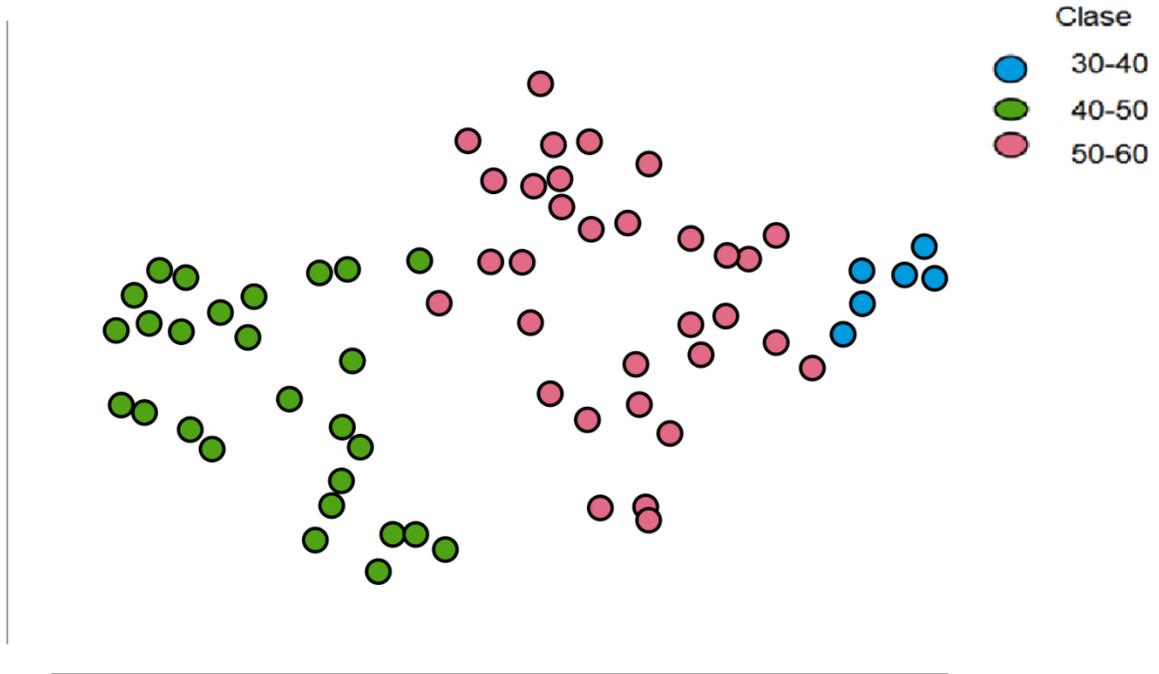


Figura 15. Representación gráfica del factor 1 versus el factor 2 de las medidas morfométricas de los individuos de tortuga Carey de la costa de Mayto-Tehuamixtle. Se puede observar que los individuos de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) se agrupan según su clase de tamaño, sin embargo, existen algunos individuos que se encuentran en un tamaño que podría ser considerado como de transición entre clases, ya que se mezclan con individuos de las clases contiguas.

Capítulo 4. Discusión

4.1 Captura de individuos y estructura de la población

El tamaño de las tortugas Carey capturadas y marcadas en la zona costera de Mayto-Tehuamixtle indica que esta población se encuentra dominada por la presencia de juveniles. Las clases 30-40 y 40-50 cm LCC son las más abundantes. La presencia de individuos de 33 cm LCC sugiere que el sitio es una zona importante de reclutamiento y desarrollo para juveniles post-oceánicos de tortuga Carey (Proietti *et al.*, 2012; Carrión- Cortéz *et al.*, 2013; Llamas *et al.*, 2017). El intervalo de tallas de captura de los individuos fue constante a través de los años (Figura 7), lo que sugiere una tasa constante de inmigración de tortugas pequeñas (reclutas) y la emigración de tortugas de tallas grandes (adultos y sub-adultos) (Bellini *et al.*, 2019).

A pesar de que se tuvo la presencia de un individuo con un LCC de 72 cm en su primera captura, talla que se encuentra por encima del LCC de madurez sexual mínimo para el Pacífico Oriental (Gaos *et al.*, 2017b), este podría ser considerado inmaduro (Meylan *et al.*, 2011). El individuo fue marcado con un transmisor satelital por Hart (2019, datos sin publicar) y se mantuvo 3 años en el área, aumentando su LCC hasta 75.5 cm, realizando movimientos locales de no más de 6 km lineales (Figura 16). Este comportamiento es similar al de los juveniles y totalmente distinto al de las hembras de tortuga Carey adultas marcadas con transmisores satelitales Careyes y Careyeros, playas de anidación cercanas ubicadas aproximadamente 100 km del área de estudio, al sur y norte, respectivamente, dichas hembras migraban hacia la zona de Mazatlán y las Islas Marías (Hart 2019, datos sin publicar) una vez terminada la temporada de anidación. Sin embargo, la tortuga MYT24 no lo hizo, considerando que las tortugas Carey anidan cada uno o dos años (Márquez, 1995).

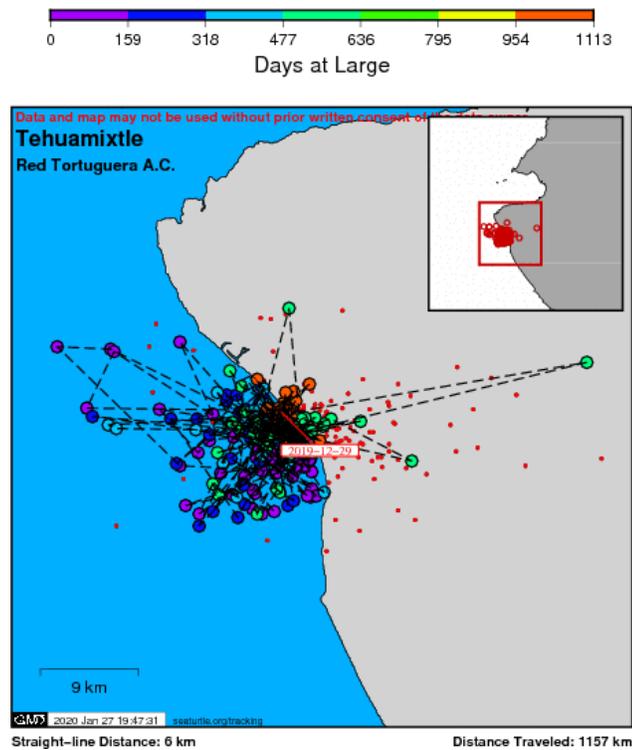


Figura 16. Movimientos de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) MYT024 con transmisor satelital, se puede observar que transmitió durante 1084 días, viajando una distancia total de 1157 km, sin embargo, sus movimientos fueron cercanos a la costa, solo desplazándose 6 km en línea recta (Hart, 2019, datos sin publicar).

4.2. Tasas de Crecimiento

4.2.1 Tasa de Crecimiento LCC

Las tasas de crecimiento de LCC de la población de Mayto-Tehuamixtle son similares a las reportadas por León y Diez (1999), Diez y Van Dam (2002), Watson (2006), Bjorndal y Bolten (2010) y Bellini *et al.* (2019). La Tabla 2 presenta un resumen de las tasas de crecimiento reportadas para *Eretmochelys imbricata* en distintas regiones del mundo. Algunas tasas de crecimiento fueron calculadas usando el Largo Recto de Caparazón (LRC) y han sido transformadas a Largo Curvo de Caparazón (LCC) según Limpus (1992), así como con una metodología de medición diferente (véase tabla en Hawkes *et al.*, 2014), por lo que deberían ser interpretadas con cautela.

La población de tortuga Carey de Mayto-Tehuamixtle presentó el máximo crecimiento en los individuos de 30-40 cm LCC, concordando con lo registrado por Diez y Van Dam (2002), Bjorndal y Bolten (2010),

Krueger *et al.* (2011), Bjorndal *et al.* (2016), Llamas *et al.* (2017) y Bellini *et al.* (2019). Este crecimiento lineal disminuye conforme el tamaño corporal aumenta (Boulon, 1994; Bell y Pike, 2012; Wood *et al.* 2013. Lo cual coincide con lo observado durante este estudio, ya que conforme aumentaba la clase de tamaño LCC, disminuía la TCI, obteniendo la TCI menor en los individuos de la clase de tamaño 70-80 cm LCC.

Mortimer *et al.*, 2000 y Hawkes *et al.* 2014, documentaron las tasas de crecimiento lineales más rápidas en las clases de tamaño más pequeñas, 30-40 cm LCC y 20-30 cm LCC, respectivamente. Limpus (1992), Chaloupka y Limpus (1997), Mortimer *et al.* (2002) y Bjorndal y Bolten (2010) reportaron el máximo crecimiento en individuos de 50-60 cm LCC. Mientras que Watson (2006), Limpus y Low Choy (2008) y Bell y Pike (2012) documentaron el pico de crecimiento en individuos de 60-70 cm LCC. Dichos picos de crecimientos en clases de mayor talla podrían deberse a un crecimiento compensatorio, después de haber enfrentado retos nutricionales durante la transición de hábitats oceánicos a neríticos, para después alcanzar un plano nutricional más alto, dando como resultado una mejor calidad y mayor calidad de alimento disponible (Bjorndal y Bolten, 2010; Bjorndal, 2016). Aunque durante este estudio no se pudieron observar organismos adultos, todos los autores consultados coinciden en que sus tasas de crecimiento en LCC son bajas y disminuyen drásticamente una vez alcanzada la madurez sexual, independientemente del sitio de estudio (Omeyer *et al.*, 2017).

4.2.2 Tasa de Crecimiento peso corporal

La TCI de peso corporal promedio fue de 2.79 ± 0.41 kg/año, esta tasa de crecimiento solo pudo ser comparado con lo observado por Hawkes *et al.* (2014) en Anegada, Islas Vírgenes Británicas, obteniendo nuestro estudio una TCI menor (Tabla 11). Durante el presente estudio solo se pudieron obtener las TCI para la clase 30-40 y 40-50 cm LCC debido a la ausencia del dato de peso durante las capturas de algunos individuos, provocando que todas las clases de edad no se encuentran bien representadas, por lo que el tamaño desigual de las muestras afectó el resultado final y podría ser el motivo por el que nuestras tasas de crecimiento son menores. Sin embargo, ambos estudios coinciden en el hecho de que los individuos aumentan de peso corporal más rápido conforme aumenta su tamaño corporal y la tendencia podría observarse mejor al representarse todas las clases de tamaño.

En ocasiones el aumento en peso corporal es omitido, debido a la dificultad de medir con precisión al llevar a cabo los muestreos a bordo de una embarcación poco estable (Bjorndal y Bolten, 1998; Diez y Van Dam,

2002). Balazs (1982) considera el uso de peso corporal como poco útil al medir el tamaño corporal, esto debido a las variaciones en el contenido estomacal, el cual puede comprender hasta el 18% del peso corporal. Además, puede ser más variable que mediciones lineales, debido al estado reproductivo o nutricional del individuo (Pough, 1980).

El peso corporal se encuentra positivamente correlacionado al tamaño corporal de los individuos (Dunbar *et al.*, 2008) y con la capacidad del individuo para amortiguar los cambios en la disponibilidad de alimento, así como en la estimación de consumo de alimento de la población (Georges y Fossete, 2006). Además, es la medida más significativa de tamaño corporal ya que parámetros fisiológicos y termorreguladores escalan con el peso corporal (Dunham, 1978). Por lo que el aumento de peso corporal un factor importante poco evaluado que debería ser considerado en futuros estudios de crecimiento.

Tabla 11. Estudios que han evaluado la tasa de crecimiento individual de peso corporal de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*).

Media TCI peso corporal kg/año	Intervalo de TCI peso corporal kg/año	Talla de individuos muestreados cm LCC	N	Autor
3.9±0.34	0.9 - 16.1	22.3 - 60.5	85	Hawkes <i>et al.</i> 2014
2.79±0.41	1.21 - 5.35	33.5 - 47	12	Este estudio

4.2.3 Crecimiento Alométrico

Se ha documentado que, al existir una relación cercana entre parámetros lineales, solo uno es necesario para describir el crecimiento lineal (Bjorndal y Bolten, 1998). Tomando en cuenta lo observado durante este estudio, así como lo descrito en la literatura respecto a un crecimiento de LCC más rápido en tortugas de menor tamaño y un aumento de peso corporal más rápido en tallas mayores, se decidió probar una nueva manera de evaluar y comparar el crecimiento corporal. Este método consistió evaluar la relación alométrica de crecimiento de los cambios en el volumen corporal con respecto al crecimiento longitudinal del caparazón. Esta forma de evaluar el crecimiento busca la relación entre el crecimiento lineal y el peso corporal, sabiendo que la condición del individuo puede afectar a este último, por lo que si sabemos cómo cambia el volumen conforme el individuo crece, conoceremos si las tortugas son de crecimiento

volumétrico indefinido, crecen el resto de su vida, o a medida que aumenta el volumen y, por lo tanto, el peso del caparazón, pudiéramos asignar una condición más en la relación masa-LCC.

Estos cambios en volumen podrían también fungir como una herramienta útil para comparar poblaciones (Bjorndal y Bolten, 1998) o para ayudar a identificar el sexo en organismos juveniles. Brophy (2006) identificó patrones de crecimiento alométrico diferentes en los machos y hembras de la tortuga Malaya (*Malayemys macrocephala*), donde el caparazón de los machos crecía proporcionalmente más largo que ancho y alto, mientras que el caparazón de las hembras crecía proporcionalmente igual.

No encontramos este tipo de evaluación de crecimiento en tortugas marinas, por lo que la metodología usada podría ser mejorada, sin embargo, podría ser probada como una nueva manera de medir el crecimiento en tortugas marinas, ya que normalmente solo se considera el crecimiento lineal y aunque las tortugas de mayor tamaño crecen más lento longitudinalmente, no así en cuestión de peso y circunferencia.

4.2.4 Factores que afectan las tasas de crecimiento

Este estudio ha demostrado que el tamaño corporal tiene un efecto en el crecimiento de los individuos, las tasas de crecimiento son una respuesta integrada a diversos parámetros individuales (nutrición, salud, inversión diferencial en crecimiento y reproducción), ecosistémicos (disponibilidad de recursos, clima) y poblacionales (densidad, demografía), (Bjorndal *et al.*, 2019). Al tener una densidad poblacional alta, se podría ejercer presión sobre recursos limitados, disminuyendo la velocidad de crecimiento en respuesta a la baja disponibilidad de alimento (Bjorndal *et al.*, 2000; Bell y Pike, 2012).

La ubicación del sitio es uno de los factores principales afectando el crecimiento de las tortugas (Diez y Van Dam, 2002), ya que las diferencias ambientales entre zonas de forrajeo influyen el uso del hábitat y estrategias de forrajeo de los individuos, resultando en diferencias de crecimiento (Peckham *et al.* 2011). Factores bióticos tales como condición de presas y enfermedades, así como, factores abióticos como prevalencia de tormentas, temperatura, pH, salinidad y turbidez del agua, podrían incrementar o reducir la tasa metabólica o alterar la calidad del hábitat de forrajeo, afectando el crecimiento (Bjorndal *et al.*, 2000; Diez y Van Dam, 2002; Bell y Pike, 2012). Estos factores no fueron registrados durante este estudio, por lo que todos deberían ser considerado en estudios futuros.

Los procesos metabólicos en las tortugas marinas son ectotérmicos y su tasa está ligada a la temperatura ambiental (Spotila *et al.*, 1997). Eguchi *et al.* (2012), documentaron un crecimiento rápido en juveniles de tortuga verde habitando la Bahía de San Diego, asociado a un efluente cálido proveniente de una planta hidroeléctrica. La costa de Mayto-Tehuamixtle presenta una temperatura superficial promedio de entre 25.1-30 °C, con mínimas de 20.6°C en abril y 31.6°C en Agosto (García-Hernández, 2014), las cuales son óptimas para el desarrollo de los juveniles de tortuga Carey. Sin embargo, debido a que la temperatura y otros factores ambientales cambian a través de los años, las tasas de crecimiento pueden presentar variación a lo largo del periodo de estudio, por lo que es recomendable incluir el factor de variabilidad interanual de temperatura en la comparación de tasas de crecimiento (Spotila *et al.*, 1997; Krueger *et al.*, 2011).

Existen algunos retos respecto a los estudios de crecimiento en tortugas marinas, éstas son de larga vida y crecimiento relativamente lento, lo cual puede alargar el tiempo de estudio y aumentar el esfuerzo, por lo que la posibilidad de recapturar un individuo es relativamente bajo (Bjorndal *et al.*, 2000). Un factor muy importante a ser considerado es el intervalo entre recapturas, ya que un dato de crecimiento parcial podría sub o sobre estimar las tasas de crecimiento anual (Bell y Pike, 2012; Avens y Snover, 2013). Tal podría ser el caso de la tortuga MYT012 una tortuga de 53 cm LCC en su primera captura dentro de este estudio, recapturada 85 días después de su primera captura no presentó crecimiento medible en el Largo Curvo de Caparazón (LCC), por lo que recomendamos se considere un periodo de por lo menos 180 días para considerar la recaptura como útil para medir crecimiento, ya que la tortuga MYT034 de 40 cm LCC en su primera captura, creció 3.5 cm LCC después de 118 días. Aunque esta diferencia en crecimiento podría estar ligado al tamaño corporal de la tortuga, más que al tiempo entre capturas.

4.3 Índice de Condición Corporal

Considerando los criterios de evaluación del estado del estado físico de la tortuga marina de Norton y Wyneken (2015), la población de tortugas Carey de Mayto-Tehuamixtle se encuentran en el código de condición corporal 0, lo cual equivaldría a “muy buena” bajo el criterio de interpretación visual subjetiva. La buena condición corporal de las tortugas habitando la zona, independientemente del año o clase de tamaño, nos da un indicio de la buena condición que para esta tortuga se encuentra el hábitat, además de resaltar su importancia como zona de desarrollo, destacando la importancia de conservar los componentes bióticos y abióticos asociados (Álvares-Varas *et al.*, 2017).

El índice de condición corporal para las tortugas Carey de Mayto-Tehuamixtle se encuentra dentro de los valores reportados para tortugas Carey de hábitats de fondo duro (Bjorndal y Bolten, 2010). Van Dam (2002) obtuvo valores de ICC de 1.18, 1.16 y 1.24 para tres sitios en Puerto Rico. Blumenthal et al. (2009a) documentaron un ICC de 1.24 ± 0.18 para la isla Pequeña Caimán y 1.24 ± 0.18 para la isla Gran Caimán. Bjorndal y Bolten (2010) reportaron un ICC medio de 1.17 ± 0.08 (min:1.05; max:1.41), para las tortugas habitando la reserva Union Creek en Bahamas. Krueger *et al.* (2011) reportaron en Barbados un ICC de 1.17 para sitios con alto contenido de esponjas, mientras que aquellos con menor contenido de esponjas encontraron un ICC de 1.18.

Las diferencias en índices de condición corporal entre individuos podrían deberse a su habilidad para detectar e ingerir alimento dependiendo de su disponibilidad (Diez y Van Dam, 2002). Bjorndal *et al.* (2000) encontraron una correlación positiva entre el ICC y la tasa de crecimiento anual promedio, mientras que la densidad poblacional correlacionó negativamente.

4.4 Fidelidad al sitio y tiempo de residencia

La recaptura de individuos hasta 1429 días después de su captura inicial, así como las capturas múltiples en el mismo sitio, sugieren que la zona costera de Mayto-Tehuamixtle es un hábitat de desarrollo a largo plazo (Bellini *et al.*, 2019). Este alto grado de residencia y fidelidad de las tortugas Carey a su zona de alimentación ha sido previamente documentado en Isla Mona, Puerto Rico (van Dam y Diez, 1997), Golfo Dulce, Costa Rica (Chacón-Chaverri *et al.*, 2014), Belice (Chevis *et al.*, 2017) y el Parque Nacional Coiba, Panamá (Llamas *et al.*, 2017). Coincidiendo con lo documentado en este estudio, ya que, a pesar de tiempos de residencia largos, algunos individuos fueron recapturados en el mismo sitio de su captura inicial (León y Diez, 1999; Llamas *et al.*, 2017; Bellini *et al.*, 2019) o cercano a él, realizando migraciones a pequeña escala dentro de la zona de forrajeo (Chevis *et al.*, 2017; Weber *et al.* 2017). Si bien este estudio no usó telemetría, los resultados sugieren que los ámbitos hogareños son pequeños (Witt *et al.*, 2010), indicando que las oportunidades de alimentación en el área son abundantes (Van Dam y Diez 1998a; Hart, 2016), aumentando las posibilidades de encontrar presas de alto valor nutricional (Berube *et al.*, 2012).

La población de tortugas Carey de Mayto-Tehuamixtle raramente presenta tallas mayores a 60 cm LCC, o son pocas veces capturada. Al aumentar de tamaño, las tortugas juveniles tienden a habitar una serie de hábitats de desarrollo, con los juveniles de mayor tamaño habitando sitios más profundos (van Dam y Diez,

1997; Bowen et al., 2007). Cuevas (2007), reportó que las tortugas Carey habitando Río Lagartos, Yucatán, al llegar a tallas cercanas a 50 cm LCC pueden migran hacia sitios más profundos, lo cual podría explicar el por qué durante nuestro estudio la captura y avistamiento de individuos de gran tamaño fue raro, ya que localmente no se realizan buceos de pesca comercial a profundidades mayores de 20 metros.

A excepción de la tortuga MYT024, la cual creció de los 72 cm a 75.5 cm LCC, la talla máxima reportada durante capturas iniciales y recapturas fue de 59.5 cm LCC, lo cual coincide con Bellini *et al.* (2019), quienes reportaron un LCC de 63.8 ± 10 cm en el último avistamiento de las tortugas Carey marcadas en Fernando de Noronha, Brasil. Cuevas *et al.* (2007) reportaron el último avistamiento de tortugas Carey en Río Lagartos, Yucatán, una vez que estas se acercaban a los 50 cm LCC. Ferreira *et al.* (2018) reportaron la captura de tallas juveniles de entre 26.5-59.8 cm LCC durante el año en la Isla Príncipe, África Occidental, observando tortugas adultas con LCC mayor a 75.5 cm solo durante la temporada de anidación, mientras que tortugas con un LCC entre 60-75 cm fueron raramente observadas.

La presencia y constante reclutamiento de juveniles y ausencia de adultos, sugiere que la zona de Mayto-Tehuamixtle podría ser una importante zona de reclutamiento, alimentación y desarrollo de juveniles de tortuga Carey en el Pacífico Central Mexicano (Dunbar et al., 2008; Santos et al., 2019). La ausencia de individuos de tallas mayores de 60 cm, así como individuos maduros podría estar explicada por un cambio en sus preferencias de hábitat y requerimientos nutricionales, lo cual provoca que se integren a sitios de desarrollo para tortugas de mayor tamaño, donde la calidad de la zona de forrajeo es óptima para alcanzar la madurez sexual (Seminoff et al., 2003; Meylan et al., 2011)

El caso de la tortuga MYT024 es interesante, ya que con sus 72 cm de LCC fue la tortuga con mayor tamaño registrada durante el periodo de muestreo: esta podría ser considerada adulta. Sin embargo, los datos del transmisor satelital colocado por Hart (2019, datos sin publicar), nos muestran que durante los 1084 días que transmitió, se movió 1157 km, con una distancia en línea recta de solo 6 km (Figura 15), teniendo un comportamiento similar al del resto de las tortugas de talla juvenil, lo que indica que pueden emigrar con tallas diferentes (Bellini *et al.*, 2019). Se cree que la migración es originada por el inicio de la madurez sexual, indicando que el tiempo de residencia en los sitios de desarrollo está influenciado por las tasas de crecimiento, lo cual varía según agregación de forrajeo (Carrión-Cortéz, 2010; Meylan *et al.*, 2011; Weber *et al.*, 2017). La tortuga Carey ocupa distintos hábitats de desarrollo durante diferentes etapas de vida (Santos *et al.*, 2019), el conocer el tiempo invertido en cada uno de ellos es crucial para conocer las tasas de supervivencia en cada hábitat y determinar qué proporción de la población alcanza la madurez sexual (Avens y Snover, 2013).

Aquellas tortugas con un estado nutricional pobre, ya sea debido a la competencia, abundancia o calidad del alimento, pueden presentar tasas de crecimiento más bajas, para evitar este estado se ven obligándolas a migrar a tallas menores en búsqueda de zonas con menor competencia y mayor abundancia y calidad nutricional del alimento (Broekhuizen *et al.* 1994, Roark *et al.* 2009, Bjorndal *et al.*, 2019). Dichas diferencias en migración contribuyen a la disminución en la varianza de las tasas de crecimiento conforme el tamaño corporal aumenta (Bjorndal *et al.*, 2019). No obstante, este no parece ser el caso para las tortugas de Mayto-Tehuamixtle, ya que el índice de condición corporal (ICC) indica que la población se encuentra en muy buen estado físico.

4.5 Uso de hábitat vertical con relación al tamaño corporal

Las tortugas capturadas en nuestro estudio fueron encontradas a profundidades de entre 4-16 m. Lo cual coincide con lo reportado por Cuevas *et al.* (2007), Witt *et al.* (2010), Gaos *et al.* (2012a), Hart *et al.* (2012), Carrión-Cortéz *et al.* (2013), Wood *et al.* (2013), Hill *et al.* (2017) y Weber *et al.* (2017), confirmando la preferencia de la especie en estas tallas por habitar aguas someras. Estas preferencias se mantienen aun cuando hay aguas más profundas disponibles (Hill *et al.*, 2017). Hart (2016) documentó que las tres tortugas marcadas con transmisor satelital pasaban la mayor parte del tiempo en profundidades de entre 0 y 10 m, con solo dos transmisiones a profundidades mayores a 101 m.

No encontramos una correlación significativa entre la profundidad de captura y el largo curvo de caparazón de las tortugas registradas durante este estudio. Con la tortuga de mayor tamaño (75 cm LCC), siendo registrada a cinco metros de profundidad, mientras que un individuo de la clase 30-40 cm LCC fue capturado en el sitio de mayor profundidad (16 m). Nuestros resultados coinciden con lo registrado por Witt *et al.* (2010), Carrrión-Cortez *et al.* (2013) y Wood *et al.* (2013). Blumenthal *et al.* (2009a) encontraron una correlación significativa entre profundidad de captura y LCC en Pequeña Caimán, Spearman's $r = 0.35$, $p < 0.001$ y Gran Caimán, Spearman's $r = 0.44$, $p < 0.001$, con las tortugas de mayor tamaño generalmente siendo capturadas en aguas más profundas. Hart *et al.* (2012) documentaron que las tortugas marcadas de mayor tamaño, pasaban mayor tiempo cerca de los transmisores acústicos en profundidades mayores, exhibiendo una posible preferencia por aguas más profundas.

No se registró una correlación significativa entre la profundidad de captura y el peso corporal de las tortugas de este estudio. Blumenthal *et al.* (2009b) no encontraron una correlación significativa entre peso

corporal y profundidad de buceo diurno promedio. Sin embargo, registraron una correlación significativa entre peso corporal y profundidad de buceo nocturno promedio, Pearson's $r = 0.58$, $p < 0.05$, donde tortugas menores a 5 kg descansaban a profundidades menores, mientras que aquellas tortugas mayores a 10 kg lo hacían a profundidades mayores. Lo cual podría estar en función al tamaño diferente del volumen de los pulmones, ya que estos almacenan la mayor parte del oxígeno destinado para los buceos (Lutz y Bentley, 1985, Hochscheid, *et al.*, 2007), permitiendo que tortugas de mayor tamaño se mantengan un mayor tiempo a profundidades mayores (Blumenthal *et al.*, 2009b).

La hora del día en que se realizó la captura y la actividad realizada por la tortuga podrían influir en la profundidad en la que se encuentre al ser capturada. Van Dam y Diez (1997) documentaron que el tamaño corporal se encontraba correlacionado significativamente con la profundidad de los buceos de alimentación, pero no con la profundidad de los buceos de descanso. Houghton *et al.* (2003) y Hunt (2009) observaron el uso de zonas someras como sitio de forrajeo, mientras que zonas profundas eran usadas como sitio de descanso. Blumenthal *et al.* (2009b) registraron patrones de actividad diurna y descanso nocturno en las tortugas Carey de las Islas Caimán, donde los buceos diurnos presentaron una mayor variabilidad de profundidades. Los buceos diurnos presentaron una profundidad promedio de 8 ± 5 m (2-20m), mientras que los buceos nocturnos presentaron una profundidad promedio de $5 \pm m$ (1-14m).

Durante este estudio no se colocó algún tipo de marca de seguimiento satelital o acústico. Sin embargo, de acuerdo con lo reportado por Carrión-Cortéz *et al.* (2013), la profundidad máxima del sitio de captura ha sido utilizada como una aproximación para entender su comportamiento en relación con la profundidad. La selección de sitios de muestreo no tiene ninguna influencia sobre los resultados obtenidos, puesto que la mayoría de las capturas fueron realizadas por los buzos de la región, durante buceos de pesca comercial, por lo que muchos de los sitios se encuentran en zonas someras donde se realizan buceos por apnea, aunque también se realiza la pesca con compresor en zonas rocosas de mayor profundidad. Es muy poco probable que la selección de los sitios de muestreo haya tenido un efecto sobre los resultados obtenidos, en cambio, lo asociamos a la batimetría del lugar, ya que en general se presentan profundidades menores de 30 m, con gran parte del hábitat rocoso de la región se encuentran en zonas someras cercanas a la costa. Selby *et al.* (2019) registraron una mayor selectividad por este tipo de sitios en juveniles de tortuga Carey de las Islas Vírgenes, independientemente de la hora del día, especialmente en profundidades menores a 20 m. Nuestro reporte coincide con esos resultados, ya que la mayoría de las capturas fueron realizadas en los sitios I y E (Figura 2), con 18 y 15 capturas respectivamente a profundidades entre 5 y 10 m.

4.6 Análisis Multivariado entre la relación del tamaño corporal y el uso de hábitat vertical

La alta correlación entre las variables lineales de crecimiento nos permite describir el crecimiento lineal con un solo parámetro (Bjorndal y Bolten, 1998), generalmente se usa el LCC, que también tienen una correlación significativa con el peso corporal (Dunbar *et al.*, 2008; Hawkes *et al.*, 2014). Esto coincide con lo observado durante este estudio, haciendo viable nuestra propuesta de utilizar el volumen corporal como método de medición en las tasas de crecimiento. El ACP confirma que la distribución y presencia de las diferentes clases de tamaño de tortuga Carey en Mayto-Tehuamixtle es independiente de la profundidad de captura, sólo representando el 12% de la variación de los datos. Sin embargo, este estudio carece de información necesaria para afirmar que esta variación sea significativa si se tomara en cuenta la profundidad máxima de buceo (Blumenthal *et al.*, 2009a; Carrión-Cortés, 2010). Esta es una respuesta fisiológica relacionada al volumen de los pulmones, el cual aumenta a la par del tamaño corporal (Hoechscheid *et al.*, 2007).

Santacruz-López (2012), detectó en tortugas negras (*Chelonia mydas agassizii*) una posible relación entre largo total de cola (LTC) y profundidad de caparazón (no evaluado en este estudio), ajustándose a un modelo de crecimiento alométrico y descartando la relación isométrica entre variables. El largo de cola es considerado un carácter sexual secundario, mediante el cual se puede determinar el sexo de la tortuga, con machos teniendo una cola de mayor tamaño que hembras (Márquez, 1996). Aunque en este estudio el 99% de los individuos fueron considerados juveniles o con sexo indefinido, se pudo observar que el ACP agrupaba juntos a los individuos de mayor tamaño. Este tipo de relación entre variables debería ser monitoreada en estudios futuros, especialmente en individuos de mayor tamaño, donde de observarse diferencias en las tendencias de crecimiento de dichas variables, los individuos podrían ser sexuados sin necesidad de que se hayan presentado los caracteres sexuales secundarios.

Capítulo 5. Conclusiones

- La población de tortuga Carey de la zona costera de Mayto-Tehuamixtle está constituida principalmente por individuos juveniles de entre 33-72 cm Largo Curvo de Caparazón (LCC), predominando los individuos de entre 35-45 cm LCC.
- Las tortugas Carey crecen en promedio 5.08 ± 0.84 cm LCC/año, los individuos de mayor tamaño crecen a una velocidad mayor y este crecimiento disminuye respecto al aumento de tamaño corporal.
- Las tortugas Carey aumentan en promedio 2.79 ± 0.41 kg/año, con una ligera tendencia a un mayor aumento de peso respecto conforme aumenta el tamaño corporal.
- El uso de la alometría como reflejo del crecimiento no lineal, pero si volumétrico es una alternativa para medir el crecimiento en tortugas, ya que permite observar un crecimiento en el volumen total, aun cuando no es posible observar un crecimiento lineal. Además, debe explorarse este tipo de crecimiento en la condición, ya que esta aumenta con el tamaño, aunque la masa corporal no aumente.
- Se observó una fuerte relación entre el tamaño corporal y el volumen, al aumentar el tamaño corporal, aumenta el volumen.
- Las tortugas habitando la zona de Mayto-Tehuamixtle son residentes con un alto grado de fidelidad.
- La zona de Mayto-Tehuamixtle es una importante zona de reclutamiento y desarrollo de tortugas Carey juveniles en el Pacífico mexicano.
- De acuerdo al Índice de Condición Corporal medio (1.28), las tortugas Carey de la zona costera de Mayto-Tehuamixtle se encuentran en buen estado nutricional, indicando que el hábitat se encuentra en buena condición para los requerimientos de esta especie.
- En la zona costera de Mayto-Tehuamixtle, la profundidad a la que se encuentran las tortugas es independiente del largo curvo de caparazón (LCC) o del peso.

5.1 Recomendaciones

- Los resultados obtenidos nos dan una idea del comportamiento del crecimiento en las tortugas Carey que habitan en arrecifes rocosos, brindándonos herramientas que permitan estimar el tiempo necesario para llegar a la madurez sexual. Sin embargo, es necesario que las TCI de todas las clases de tamaño presentes, se encuentren bien representada, para tener un resultado más cercano a la realidad.
- Este trabajo es un parteaguas en el desarrollo de proyectos sobre dieta, bioquímica sanguínea, genética, ecología trófica y salud determinación de edad mediante esqueleto-cronología, ya que en el desarrollo de este proyecto se obtuvieron muestras de contenido esofágico, sangre, tejido, epibiontes de organismos vivos, así como cráneos y húmeros de aquellas tortugas que resultaron varadas.
- La presencia mayoritaria de individuos juveniles, así como su alto grado de fidelidad y residencia, representa una gran oportunidad para implementar métodos de conservación regionales, así como la habilidad para monitorear cambios en el hábitat al lograr crear una línea base del comportamiento de la especie.
- La escasa presencia de individuos de tallas adultas, así como la posible migración de los juveniles de mayor tamaño nos dan la oportunidad de realizar proyectos de telemetría satelital que nos permitan esclarecer su uso de hábitat durante esta etapa de transición.
- El inicio de un programa de marcaje, aunque a largo plazo, es un método de bajo costo que nos permitirá conocer los movimientos de las tortugas una vez realicen su migración a otros sitios de forrajeo o anidación.
- La colaboración y comunicación constante con la comunidad pesquera es de suma importancia y es un elemento clave en el desarrollo de proyectos de conservación exitosos, así como una manera de reducir costos operativos y deberá ser uno de los ejes principales.

Literatura citada

- Alfaro-shigueto, J., Mangel, J. C., Caceres, C., Seminoff, J. A., Gaos, A., Yañez, I. (2010). Hawksbill Turtles in Peruvian Coastal Fisheries. *Marine Turtle Newsletter*, 129, 19–20.
- Álvarez-Varas, R., Contardo, J., Heidemeyer, M., Forero-Rozo, L., Brito, B., Cortés, V., Vianna, J. A. 2017. Ecology, health and genetic characterization of the southernmost green turtle (*Chelonia mydas*) aggregation in the Eastern Pacific: implications for local conservation strategies. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(3), 540–554. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue3-fulltext-4>
- Amorocho, D. F. 2001. Status and Distribution of the Hawksbill Turtle, *Eretmochelys imbricata*, in the Wider Caribbean Region. En: Eckert, K. L., Abreu-Grobois, A. F. (Eds.), *Proceedings of the Regional Meeting: "Marine Turtle Conservation in the Wider Caribbean Region: A Dialogue for Effective Regional Management,"* Santo Domingo, 16-18 November 1999. (pp. 41–45).
- Avens, L., Snover, M. L. 2013. Age and Age Estimation in Sea Turtles. En Wyneken, J., Lohmann, K. J., Musick, J. A. (Eds.), *The Biology of Sea Turtles Volume III*. CRS Press. Boca Raton, Florida. (pp. 97-133).
- Balazs, G.A. 2002. Muestreo y Análisis de los Componentes de la Dieta. En: Eckert, K. L., Bjorndal K. A., Abreu-Grobois, A. F., Donnelly, M. (Eds.), *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de Tortugas Marinas*. UICN/CSE Grupo Especialista en Tortugas Marinas. (pp. 165-170).
- Balazs, G.H., Chaloupka. M. 2004. Thirty-year recovery trend in the once depleted Hawaiian green sea turtle stock *Biology Conservation* 117, 491–498
- Beggs, J., Horrocks, J., Krueger, B. 2007. Increase in hawksbill sea turtle *Eretmochelys imbricata* nesting in Barbados, West Indies. *Endangered Species Research*, 3, 159–168. <https://doi.org/10.3354/esr003159>
- Bell, I. 2013. Algivory in hawksbill turtles: *Eretmochelys imbricata* food selection within a foraging area on the Northern Great Barrier Reef. *Marine Ecology*, 34(1), 43–55. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2012.00522.x>
- Bell, I., Pike, D. A. 2012. Somatic growth rates of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* in a northern Great Barrier Reef foraging area. 446, 275–283. <https://doi.org/10.3354/meps09481>
- Bellini, C., Santos, A. J. B., Patrício, A. R., Bortolon, L. F. W., Godley, B. J., Marcovaldi, M. A., ... Colman, L. P. 2019. Distribution and growth rates of immature hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* in Fernando de Noronha, Brazil. *Endangered Species Research*, 40, 41–52. <https://doi.org/10.3354/esr00979>
- Berube, M. D., Dunbar, S. G., Rützler, K., Hayes, W. K. 2012. Home Range and Foraging Ecology of Juvenile Hawksbill Sea Turtles (*Eretmochelys imbricata*) on Inshore Reefs of Honduras. *Chelonian Conservation and Biology*, 11(1), 33–43. <https://doi.org/10.2744/ccb-0898.1>
- Bjorndal, K. A. 1999. Conservation of Hawksbill Sea Turtles: Perceptions and Realities. *Chelonian Conservation and Biology*, 3(2), 174–176.

- Bjorndal, K. A. 2000. Prioridades para la Investigación en Hábitats de Alimentación. En: Eckert, K. L., Bjorndal K. A., Abreu-Grobois, A. F., Donnelly, M.(Eds.), Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de Tortugas Marinas. UICN/CSE Grupo Especialista en Tortugas Marinas. (Pp. 13-15).
- Bjorndal, K. A., Bolten, A. B., & Chaloupka, M. (2019). Green turtle somatic growth dynamics: distributional regression reveals effects of differential emigration. *Marine Ecology Progress Series*, 616, 185–195.
- Bjorndal, K. A., Chaloupka, M., Saba, V. S., Diez, C. E., Van Dam, R. P., Krueger, B. H., ... Bolten, A. B. 2016. Somatic growth dynamics of West Atlantic hawksbill sea turtles: A spatio-temporal perspective. *Ecosphere*, 7(5), 1–14. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1279>
- Bjorndal, K. A. y Bolten, A. B. 2010. Hawksbill sea turtles in seagrass pastures: Success in a peripheral habitat. *Marine Biology*, 157(1), 135–145. <https://doi.org/10.1007/s00227-009-1304-0>
- Blumenthal, J. M., Austin, T. J., Bell, C. D. L., Bothwell, J. B., Broderick, A. C., Ebanks-Petrie, G., ... Godley, B. J. 2009a. Ecology of Hawksbill Turtles, *Eretmochelys imbricata*, on a Western Caribbean Foraging Ground. *Chelonian Conservation and Biology*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.2744/CCB-0758.1>
- Blumenthal, J. M., Austin, T. J., Bothwell, J. B., Broderick, A. C., Ebanks-Petrie, G., Olynik, J. R., ... Godley, B. J. 2009b. Diving behavior and movements of juvenile hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* on a Caribbean coral reef. *Coral Reefs*, 28(1), 55–65. <https://doi.org/10.1007/s00338-008-0416-1>
- Bolten, A. B. 2002. Técnicas para la Medición de Tortugas Marinas. En: Eckert, K. L., Bjorndal K. A., Abreu-Grobois, A. F., Donnelly, M.(Eds.), Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de Tortugas Marinas). UICN/CSE Grupo Especialista en Tortugas Marinas. (pp. 126-131).
- Bouchard, S.S., Bjorndal, K.A. 2000. Sea turtles as biological transporters of nutrients and energy from marine to terrestrial ecosystems. *Ecology* 81: 2305-2313
- Boulon, R. H. 1994. Growth Rates of Wild Juvenile Hawksbill Turtles, *Eretmochelys imbricata*, in St. Thomas, United States Virgin Islands. *Copeia*, (3), 811–814. <https://doi.org/10.2307/1447200>
- Bowen, B. W., Grant, W. S., Hillis-Starr, Z., Shaver, D. J., Bjorndal, K. A., Bolten, A. B., & Bass, A. L. 2007. Mixed-stock analysis reveals the migrations of juvenile hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in the Caribbean Sea. *Molecular Ecology*, 16(1), 49–60. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2006.03096.x>
- Brittain, R., Handy, S., Lucas, S. 2012. Two Reports of Juvenile Hawksbill Sea Turtles (*Eretmochelys imbricata*) on the Southeast Coast of Guatemala. (133), 2011–2013.
- Broekhuizen, N., Gurney, W. S. C., Jones, A., Byrant A. D. 1994. Modelling compensatory growth. *Functional Ecology*, 8(6), 770–782.
- Brophy, T. R. 2006. Allometry and Sexual Dimorphism in the Snail-Eating Turtle *Malayemys macrocephala* from the Chao Phraya River Basin of Central Thailand. 5(1), 159–165.
- Carr, A., Hirth, H., Ogreen, L. 1966. The Ecology and Migration of Sea Turtles, 6: The Hawksbill Turtle in the Caribbean Sea. In *American Museum Novitates* (Vol. 2248). <https://doi.org/10.3354/esr00098>
- Carr, A. 1987. New Perspectives on the Pelagic Stage of Sea Turtle Development. *Conservation Biology*, 1(2), 103–121.

- Carrión-Cortez, J. 2010. Área de actividad local, dieta e intensidad de uso del hábitat de forrajeo de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en el Pacífico Norte de Costa Rica. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 84 pp.
- Carrión-Cortez, J., Canales-Cerro, C., Arauz, R., Riosmena-Rodríguez, R. 2013. Habitat Use and Diet of Juvenile Eastern Pacific Hawksbill Turtles (*Eretmochelys imbricata*) in the North Pacific Coast of Costa Rica. *Chelonian Conservation and Biology*, 12(2), 235–245. <https://doi.org/10.2744/ccb-1024.1>
- Castellanos-Michel, R., Martínez-Tovar, C., Enciso-Padilla, I., Jacobo-Pérez, J. 2006. Low presence of the Leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) and Hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) in the Jalisco Coast, Mexican Pacific (2000-2002). En: Pilcher N. J. (Ed.), *Proceedings of the Twenty-Third Annual Symposium on Sea Turtle of the Twenty-First Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation* (pp. 31–34).
- Chacón-Chaverri, D., Martínez-cascante, D. A., Rojas, D., Fonseca, L. G. 2014. La tortuga Carey del Pacífico Oriental (*Eretmochelys imbricata*). *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 351–362.
- Chaloupka, M. Y., Limpus, C. J. 1997. Robust statistical modelling of hawksbill sea turtle growth rates (southern Great Barrier Reef). *Marine Ecology Progress Series*, 146, 1–8. <https://doi.org/10.3354/meps146001>
- Chaloupka M. Y., Musick, J. A., 1996. Age, Growth, and Population Dynamics. En: Lutz P.L. y Musick J. A. (Eds.), *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press. Boca Raton, Florida. (pp. 234-276).
- Chatting, M., Smyth, D., Al-Maslamani, I., Obbard, J., Al-Ansi, M., Hamza, S., ... Marshall, C. D. 2018. Nesting ecology of hawksbill turtles, *Eretmochelys imbricata*, in an extreme environmental setting. *PLoS ONE*, 13(9), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203257>
- Chevis, M. G., Godley, B. J., Lewis, J. P., Lewis, J. J., Scales, K. L., Graham, R. T. 2017. Movement patterns of juvenile hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* at a Caribbean coral atoll: Long-term tracking using passive acoustic telemetry. *Endangered Species Research*, 32(1), 309–319. <https://doi.org/10.3354/esr00812>
- CITES. 2008. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Apéndices I, II y III. Consulta el 20 de octubre, de 2018, de: <http://www.cites.org/esp/app/appendices.shtm>
- Cliffton, K., Cornejo, D.O. Felger, R.S. 1982. Sea turtles of the Pacific coast of Mexico. En: Bjorndal K. A. (ed.) *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, USA. (pp. 199–209).
- Cornelius, S.E. 1982 Status of sea turtles along the Pacific coast of Middle America. En: Bjorndal K. A. (Ed), *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, USA. (pp. 211–220).
- Cuevas, E., Liceaga-Correa, M. D. L. Á., & Garduño-Andrade, M. 2007. Spatial characterization of a foraging area for immature *Eretmochelys imbricata*. *Amphibia-Reptilia*, 3(28), 337–346.
- Diez, C. E., Van Dam, R. P. 2002. Habitat effect on hawksbill turtle growth rates on feeding grounds at Mona and Monito Islands, Puerto Rico. *Marine Ecology Progress Series*, 234, 301–309. <https://doi.org/10.3354/meps234301>

- DOF. 2010. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo 2a sección. México, D.F.
- Dunbar, S. G., Salinas, L., Stevenson, L. 2008. In-Water Observations of Recently Released Juvenile Hawksbills (*Eretmochelys imbricata*). Marine Turtle Newsletter, 121, 5–9. Retrieved from <http://www.cites.org/eng/news/meetings/>
- Dunham, A. E. 1978. Food availability as a proximate factor influencing individual growth rates in the iguanid lizard *Sceloporus merriami*. Ecology 59: 770-778.
- Eguchi, T., Seminoff, J. A., LeRoux, R. A., Prosperi, D., Dutton, D. L., Dutton, P. H. 2012. Morphology and Growth Rates of the Green Sea Turtle (*Chelonia mydas*) in a Northern-most Temperate Foraging Ground. Herpetologica, 68(1), 76–87. <https://doi.org/10.2307/41406820>
- Ehrhart, L. M., Ogren, L. H. 2000. Estudios en Hábitats de Alimentación: Captura y Manejo de Tortugas. En: Eckert, K. L., Bjorndal K. A., Abreu-Grobois, A. F., Donnelly, M.(Eds.), Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de Tortugas Marinas). UICN/CSE Grupo Especialista en Tortugas Marinas. Pp. 70-74.
- Ferreira, R. L., Ceia, F. R., Borges, T. C., Ramos, J. A., Bolten, A. B. 2018. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Foraging niche segregation between juvenile and adult hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) at Príncipe Island, West Africa. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 498(October 2017), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.10.005>
- Gaos, A. R., Abreu-Grobois, F. A., Alfaro-Shigueto, J., Amoroch, D., Arauz, R., Baquero, A., ... Zárate, P. 2010. Signs of hope in the eastern Pacific: International collaboration reveals encouraging status for a severely depleted population of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata*. Oryx, 44(4), 595–601. <https://doi.org/10.1017/S0030605310000773>
- Gaos, A. R., Lewison, R. L., Jensen, M. P., Liles, M. J., Chavarria, S., Mario, C., ... Ruales, D. A. 2017a. Natal foraging philopatry in eastern Pacific hawksbill turtles. Royal Society Open Science, 4, 8.
- Gaos, A. R., Liles, M. J., Gadea, V., Pena, A., Vallejo, F., Miranda, C., ... Seminoff, J. A. (2017b). Living on the Edge: Hawksbill turtle nesting and conservation along the Eastern Pacific Rim. Latin American Journal of Aquatic Research, 45(3), 572–584. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue3-fulltext-7>
- Gaos, A. R., Lewison, R. L., Jensen, M. P., Liles, M. J., Henriquez, A., Chavarria, S., ... Dutton, P. H. 2018. Rookery contributions, movements and conservation needs of hawksbill turtles at foraging grounds in the eastern Pacific Ocean. Marine Ecology Progress Series, 586, 203–216. <https://doi.org/10.3354/meps12391>
- Gaos, A. R., Lewison, R. R., Wallace, B. P., Yañez, I. L., Liles, M. J., Baquero, A., Seminoff, J. A. 2012a. Dive behaviour of adult hawksbills (*Eretmochelys imbricata*, Linnaeus 1766) in the eastern Pacific Ocean highlights shallow depth use by the species. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 432–433, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.07.006>
- Gaos, A. R., Lewison, R. L., Yañez, I. L., Wallace, B. P., Liles, M. J., Nichols, W. J., ... Yan, I. L. 2012b. Shifting the life-history paradigm: discovery of novel habitat use by hawksbill turtles. Biology Letters, (8), 54–56. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0603>

- Gaos, A. R., Liles, M. J., Gadea, V., Pena, A., Vallejo, F., Miranda, C., ... Seminoff, J. A. 2017b. Living on the Edge: Hawksbill turtle nesting and conservation along the Eastern Pacific Rim. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(3), 572–584. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue3-fulltext-7>
- García-Hernández, V. C. (2014). Análisis de la biodiversidad en arrecifes rocosos en la zona de transición tropical-subtropical del Pacífico Mexicano. Tesis de Doctorado en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). pp. 173
- García-Hernández, V. C., Reyes-Bonilla, H., Balart, E. F., Ríos-Jara, E., Lluch-Cota, S. E., Serviere-Zaragoza, E. 2014. Comparison of ecological diversity and species composition of macroalgae, benthic macroinvertebrates, and fish assemblages between two tropical rocky reefs. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(3), 477-491.
- Georges, J. Y., Fossette, S. 2006. Estimating body mass in leatherback turtles *Dermochelys coriacea*. *Marine Ecology Progress Series*, 318, 255–262. <https://doi.org/10.3354/meps318255>
- Hart, C. E. 2016. Estatus y conservación de las tortugas marinas en las costas de Nayarit y del norte de Jalisco. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad de Guadalajara. pp. 138.
- Hart, K. M., Sartain, A. R., Fujisaki, I., Pratt, H. L., Morley, D., Feeley, M. W. 2012. Home range, habitat use, and migrations of hawksbill turtles tracked from Dry Tortugas National Park, Florida, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 457, 193–207. <https://doi.org/10.3354/meps09744>
- Hawkes, L. A., McGowan, A., Broderick, A. C., Gore, S., Wheatley, D., White, J., ... Godley, B. J. 2014. High rates of growth recorded for hawksbill sea turtles in Anegada, British Virgin Islands. *Ecology and Evolution*, 4(8), 1255–1266. <https://doi.org/10.1002/ece3.1018>
- Heidemeyer, M., Arauz-Vargas, R., López-Agüero, E. 2014. New foraging grounds for hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) and green turtles (*Chelonia mydas*) along the northern pacific coast of Costa Rica, central America. *Revista de Biología Tropical*, 62, 109–118. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20037>
- Hochscheid, S., McMahon, C. R., Bradshaw, C. J. A., MaVucci, F., Bentivegna, F., Hays, G. C. 2007 Allometric scaling of lung volume and its consequences for marine turtle diving performance. *Comp Biochemical Physiology Part A. Molecular Integral Physiology* 148:360–367
- Houghton J. D. R., Callow, M. J., Hays, G. C. 2003. Habitat utilization by juvenile hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*, Linnaeus, 1766) around a shallow water coral reef. *Journal of Natural History*, 37(10), 1269–1280. <https://doi.org/10.1080/00222930110104276>
- Hunt, L. E. 2009. Characterization of habitat for hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) in Los Roques Archipiélago national park, Venezuela. Tesis de Maestría en Ciencias. Texas A&M University. Texas, E.U.A. pp. 40.
- Jackson, J. B. C. 1997. Reefs since Columbus. *Coral Reefs*, 16, S23–S32. <https://doi.org/10.1007/s003380050238>
- Krueger, B. H., Chaloupka, M. Y., Leighton, P. A., Dunn, J. A., Horrocks, J. A. 2011. Somatic growth rates for a hawksbill turtle population in coral reef habitat around Barbados. 432, 269–276. <https://doi.org/10.3354/meps09125>

- Labrada-Martagón, V., Méndez-Rodríguez, L. C., Gardner, S. C., Cruz-Escalona, V. H., & Zeteno-Savin, T. 2010. Health Indices of the Green Turtle (*Chelonia mydas*) Along the Pacific Coast of Baja California Sur, Mexico. II. Body Condition Index. *Chelonian Conservation and Biology*, 9(2), 173–183.
- León, Y. M., Diez, C. E. 1999. Population structure of Hawksbill turtles on a foraging ground in the Dominican Republic. *Chelonian Conservation and Biology*, 3(2), 230–236.
- León, Y. M., Bjorndal, K. A. 2002. Selective feeding in the hawksbill turtle, an important predator in coral reef ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 245, 249–258. <https://doi.org/10.3354/meps245249>
- Liles, M. J., Gaos, A. R., Bolanos, A. D., Lopez, W. A., Arauz, R., Gadea, V., ... Peterson, M. J. 2017. Survival on the rocks: high bycatch in lobster gillnet fisheries threatens hawksbill turtles on rocky reefs along the Eastern Pacific coast of Central America. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(3), 521–539. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue3-fulltext-3>
- Liles, M. J., Jandres, M. V., López, W. A., Mariona, G. I., Hasbún, C. R., Seminoff, J. A. 2011. Hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* in El Salvador: Nesting distribution and mortality at the largest remaining nesting aggregation in the eastern Pacific Ocean. *Endangered Species Research*, 14, 23–30. <https://doi.org/10.3354/esr00338>
- Liles, M. J., Peterson, M. J., Seminoff, J. A., Altamirano, E., Henríquez, A. V., Gaos, A. R., ... Peterson, T. R. 2015. One size does not fit all: Importance of adjusting conservation practices for endangered hawksbill turtles to address local nesting habitat needs in the eastern Pacific Ocean. *Biological Conservation*, 184, 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.02.017>
- Limpus, C. J. 1992. The Hawksbill Turtle, *Eretmochelys imbricata*, in Queensland: Population Structure within a Southern Great Barrier Reef Feeding Ground. *Wildlife Research*, 19(4), 471–487. <https://doi.org/10.1071/WR9920489>
- Limpus, C. J., Low Choy, S. 2008. Growth studies of immature *Eretmochelys imbricata*. En: Limpus, C. J., Miller, J. D. (Eds.), *Australian Hawksbill Turtle Population Dynamics Project*. Queensland, Australia: Queensland Environmental Protection Agency. pp. 125-130
- Llamas, I., Flores, E., Abrego, M., Seminoff, J., Hart, C., Pena, B., ... Gaos, A. 2017. Distribution, size range and growth rates of hawksbill turtles at a major foraging ground in the eastern Pacific Ocean. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(3), 597–605. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue3-fulltext-9>
- Lutz, P.L., Bentley T.B. 1985. Respiratory physiology of diving in the sea turtle. *Copeia* 1985:671–679
- Makowski, C., Seminoff, J. A., Salmon, M. 2006. Home range and habitat use of juvenile Atlantic green turtles (*Chelonia mydas* L.) on shallow reef habitats in Palm Beach, Florida, USA. *Marine Biology*, (148), 1167–1179. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-0150-y>
- Márquez, R. 1996. *Las tortugas marinas y nuestro tiempo*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Meylan, A. 1988. Spongivory in Hawksbill Turtles: A Diet of Glass. *Science*, 239(4838), 393–395.

- Meylan, A., Meylan, P. A. 2000. Introducción a la Evolución, Historias de Vida y Biología de Tortugas Marinas. En: Eckert, K. L., Bjorndal K. A., Abreu-Grobois, A. F., Donnelly, M.(Eds.), Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de Tortugas Marinas. UICN/CSE Grupo Especialista en Tortugas Marinas. Pp. 3-5.
- Meylan, A.B. 1982. Estimation of population size in sea turtles. En: Bjorndal, K. A. (ed.), Biology and Conservation of Sea Turtles. Revised Edition. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. Pp. 135-138.
- Meylan, A.B., Donnelly, M. 1999. Satus Justification for Listing the Hawksbill Turtle (*Eretmochelys imbricata*) as Critically Endangered in the 1996 IUCN Red List of Threatened Animals. Chelonian Conservation and Biology, 3(2), 200–224.
- Meylan, P. A., Meylan, A.B., Gray, J. A. 2011. The Ecology and Migrations of Sea Turtles 8. Tests of the Developmental Habitat Hypothesis. Bulletin of the American Museum of Natural History, 357, 1–70. <https://doi.org/10.1206/357.1>
- Miller, J. D. 1996. Reproduction in Sea Turtles. En: Lutz P.L. y Musick J. A. (Eds.), The Biology of Sea Turtles. CRC Press. Boca Raton, Florida. (pp. 51-81).
- Miller J. D., Limpus C. J., Bell I. P. 2008. Nesting biology of *Eretmochelys imbricata* in the northern Great Barrier Reef. En: Limpus, C. J., Miller, J. D. (eds.), Australian Hawksbill Turtle Population Dynamics Project. Queensland, Australia: Queensland Environmental Protection Agency. pp. 41-84.
- Mortimer, J.A. 1995. Teaching critical concepts for the conservation of sea turtles. Marine Turtle Newsletter 71: 1- 4
- Mortimer, J.A., Collie, J., Jupiter, T., Chapman, R., Liljevik, A., & Betsy, B. 2002. Growth rates of immature hawksbills (*Eretmochelys imbricata*) at Aldabra Atoll, Seychelles (Western Indian Ocean). Proceedings of the 22nd Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, (October), 247–248.
- Mortimer, J. A., Day, M., Broderick, D. 2000. Sea turtle populations of the Chagos Archipelago, British Indian Ocean Territory. Proceedings of the 20th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, 47–49.
- Mortimer, J.A., Donnelly, M., & (IUCN SCC Marine Turtle Specialist Group). 2008. *Eretmochelys imbricata* - Hawksbill turtle.
- Musick, J. A., Limpus, C. J. 1996. Habitat Utilization and Migration in Juvenile Sea Turtles. En: Lutz, P. L., Musick, J. A. (Eds.), The Biology of Sea Turtles. CRC Press. Boca Raton, Florida. (pp. 137-163).
- Nichols, W. J. 2003. Biology and conservation of sea turtles in Baja California, México. Tesis de Doctorado en Ciencias. The University of Arizona. Arizona, E.U.A. pp. 488.
- NMFS y USFWS (National Marine Fisheries Service y US Fish and Wildlife Service). 1998. Recovery Plan for U.S. Pacific Populations of the Hawksbill Turtle (*Eretmochelys imbricata*). National Marine Fisheries Service, Silver Spring, USA.
- Norton, T., Wyneken, J. 2015,. Índice de condición corporal en las tortugas marinas. Consultado el 4 de agosto de 2020, de <https://lafeber.com/vet/es/indice-de-condicion-corporal-en-las-tortugas-marinas/>

- Omeyer, L. C. M., Godley, B. J., Broderick, A. C. 2017. Growth rates of adult sea turtles. 34, 357–371.
- Parker, D. M., Balazs, G. H., King, C. S., Katahira, L., & Gilmartin, W. 2009. Short-Range Movements of Hawksbill Turtles (*Eretmochelys imbricata*) from Nesting to Foraging Areas within the Hawaiian Islands. *Pacific Science*, 63(3), 371–382. <https://doi.org/10.2984/049.063.0306>
- Peckham, S. H., Maldonado-diaz, D., Tremblay, Y., Ochoa, R., Polovina, J., Balazs, G., ... Nichols, W. J. 2011. Demographic implications of alternative foraging strategies in juvenile loggerhead turtles *Caretta caretta* of the North Pacific Ocean. 425, 269–280. <https://doi.org/10.3354/meps08995>
- Pough, F. H. 1980. The advantages of ectothermy for tetrapods. *Amer. Nat.* 115:92-112.
- Pritchard, P. C. H., Mortimer, J. A. 2000. Taxonomía, Morfología Externa e Identificación de las Especies. En: Eckert, K. L., Bjorndal K. A., Abreu-Grobois, A. F., Donnelly, M.(Eds.), Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de Tortugas Marinas. UICN/CSE Grupo Especialista en Tortugas Marinas. Pp. 23-41.
- Proietti, M. C., Reisser, J., Secchi, E. R. 2012. Foraging by Immature Hawksbill Sea Turtles at Brazilian Islands. *Marine Turtle Newsletter*, (135), 4–8.
- Pukazhenth, B., P. Comizzoli, A. J. Travis, and D. E. Wildt. 2005. Applications of emerging technologies to the study and conservation of threatened and endangered species. *Reprod. Fertil. Dev.* 18:77–90.
- Quiñones, J., Zeballos, J., Quispe, S., & Delgado, L. 2011. Southernmost Records of Hawksbill Turtles Along the East Pacific Coast of South America. *Marine Turtle Newsletter*, (130), 16–19.
- Ramos-Ávila, D., Lara, U. M., Reséndiz, E. 2019. Caracterización de los Individuos De Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) Asociados al Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago De Espíritu Santo, B.C.S. Pags.: 263-266
- Rincón-Díaz, M. P., Díez, C. E., van Dam, R. P., Sabat, A. M. 2012. Effect of Food Availability on the Abundance of Juvenile Hawksbill Sea Turtles (*Eretmochelys imbricata*) in Inshore Aggregation Areas of the Culebra Archipelago, Puerto Rico. *Chelonian Conservation and Biology*, 10(2), 213–221. <https://doi.org/10.2744/ccb-0920.1>
- Roark, A. M., Bjorndal, K. A., Bolten, A. B. 2009. Compensatory responses to food restriction in juvenile green turtles (*Chelonia mydas*). *Ecology*, 90(9), 2524–2534.
- Santacruz-López, E. 2012. Monitoreo estandarizado de la población de tortugas marinas, en la Reserva de la Biosfera Bahía de Los Ángeles, Baja California, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. pp. 124.
- Santos, A. A. J. B., Bellini, C., Bortolon, L. F. W., Outerbridge, B., Darren, C. 2019. Long-Range Movements and Growth Rates of Brazilian Hawksbill Turtles: Insights from a Flipper-Tagging Program. 18(1), 75–81. <https://doi.org/10.2744/CCB-1343.1>
- Selby, T. H., Hart, K. M., Smith, B. J., Pollock, C. G., Hillis-Starr, Z., Oli, M. K. 2019. Juvenile hawksbill residency and habitat use within a Caribbean marine protected area. 40, 53–64.

- Seminoff, J. A., Alfaro-Shigueto, J., Amorocho, D. F., Arauz, R., Baquero-Gallegos, A., Didiher, C. C., ... Wallace, B. P. 2012. Biology and Conservation of Sea Turtles in the Eastern Pacific Ocean: A general Overview. En: Seminoff, J. A., Wallace, B. P. (Eds.), *Sea turtles of the Eastern Pacific: advances in research and conservation*. University of Arizona Press. Tucson, Arizona. (pp. 11-38).
- Seminoff, J. A., Nichols, W. J., Resendiz, A., Brooks, L. 2003. Occurrence of Hawksbill Turtles, *Eretmochelys imbricata* (Reptilia: Cheloniidae), near the Baja California Peninsula, Mexico. *Pacific Science*, 57(1), 9–16. <https://doi.org/10.1353/psc.2003.0008>
- Seminoff, J. A., Resendiz, A., Nichols, W. J. 2002. Home range of green turtles *Chelonia mydas* at a coastal foraging area in the Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 242, 253–265. <https://doi.org/10.3354/meps242253>
- Spotila J. R., O'Connor M. P., Paladino F. V. 1997. Thermal biology. En: Lutz, P. L., Musick, J. A. (eds.), *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press. Boca Raton, FL. (pp. 297–314).
- Strindberg, S., Coleman, R. A., Perez, V. R. B., Campbell, C. L., Majil, I., Gibson, J. 2016. In-water assessments of sea turtles at Glover's Reef Atoll, Belize. 31, 211–225. <https://doi.org/10.3354/esr00765>
- Tobón-López, A., Amorocho Llanos, D. F. 2014. Estudio poblacional de la tortuga Carey *Eretmochelys imbricata* (Cheloniidae) en el Pacífico Sur de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 447–457.
- Van Dam, R. P., Diez, C. E. 1997. Diving behavior of immature hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in a caribbean reef habitat. *Coral Reefs*, 16, 133–138. <https://doi.org/10.1007/s003380050067>
- Van Dam, Robert P., Diez, C. E., Balazs, G. H., Colón Colón, L. A., McMillan, W. O., Schroeder, B. 2008. Sex-specific migration patterns of hawksbill turtles breeding at Mona Island, Puerto Rico. *Endangered Species Research*, 4, 85–94. <https://doi.org/10.3354/esr00044>
- Vélez-Zuazo, X., Mangel, J. C., Seminoff, J. A., Wallace, B. P., Alfaro-Shigueto, J. 2017. Filling the gaps in sea turtle research and conservation in the region where it began: Latin America. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(3), 501–505. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue3-fulltext-1>
- Wallace, B. P., DiMatteo, A. D., Hurley, B. J., Finkbeiner, E. M., Bolten, A. B., Chaloupka, M. Y., ... Mast, R. B. 2010. Regional Management Units for Marine Turtles: A Novel Framework for Prioritizing Conservation and Research across Multiple Scales. *PLoS ONE*, 5(12), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015465>
- Weber, S. B., Weber, N., Godley, B. J., Pelembe, T., Stroud, S., Williams, N., Broderick, A. C. 2017. Ascension Island as a mid-Atlantic developmental habitat for juvenile hawksbill turtles. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97(4), 813–820. <https://doi.org/10.1017/S0025315414001258>
- Whiting, S. D., Guinea, M. L. 1998. Where do they go? Immature green and hawksbill turtles in Fog Bay. En: Kennett, R., Webb, A., Duff, G., Guinea, M., Hill, G. (eds.), *Marine Turtle Conservation and Management in Northern Australia: Proceedings of a Workshop held at the Northern Territory University Darwin, 3–4 June 1997*. Darwin: Centre for Indigenous Natural and Cultural Resource Management Centre for Tropical Wetlands Management, Northern Territory University. pp. 106–109.

- Wildermann, N. E., Gredzens, C., Avens, L., Héctor, A., Bell, I., Blumenthal, J., ... Fuentes, M. M. P. B. .2018. Informing research priorities for immature sea turtles through expert elicitation. *Endangered Species Research*, 37, 57-76. <https://doi.org/10.3354/esr00916>
- Witt, M., McGowan, A., Blumenthal, J., Broderick, A., Gore, S., Wheatley, D., ... Godley, B. 2010. Inferring vertical and horizontal movements of juvenile marine turtles from time-depth recorders. *Aquatic Biology*, 8, 169–177. <https://doi.org/10.3354/ab00221>
- Wood, L. D., Hardy, R., Meylan, P. A., Meylan, A. B. 2013. Characterization of a Hawksbill Turtle (*Eretmochelys imbricata*) Foraging aggregation in a high-latitude reef community in Southeastern Florida, USA. *Herpetological Conservation and Biology*, 8(1), 258–275.

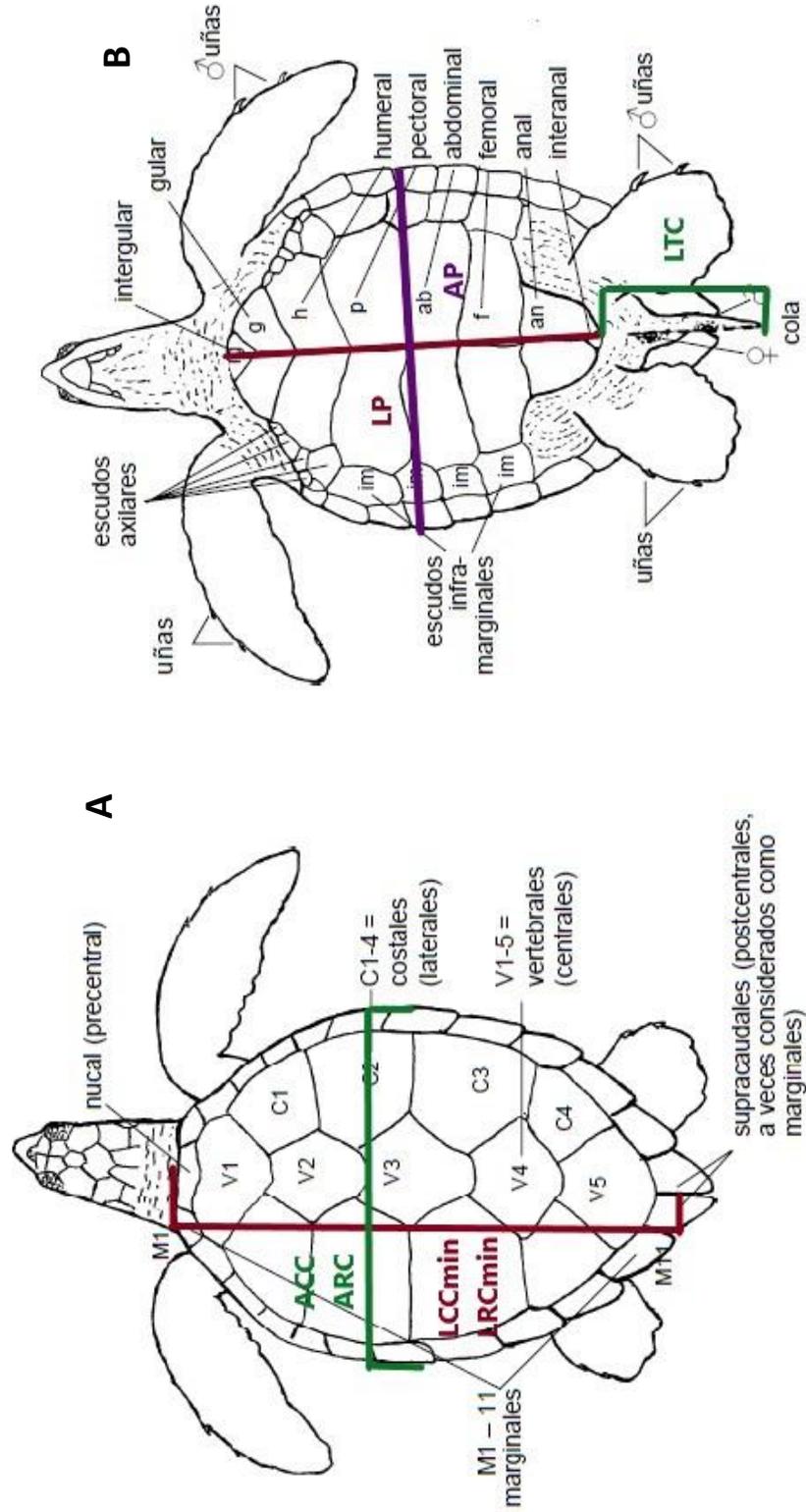


Figura 17- A) Se muestran las medidas curvas y rectas tomadas en el caparazón (LCC, LRC, ACC, ARC). B) se muestran medidas curvas tomadas en el plastrón (LP, AP, LTC) (Modificado de Pritchard y Mortimer, 2000)

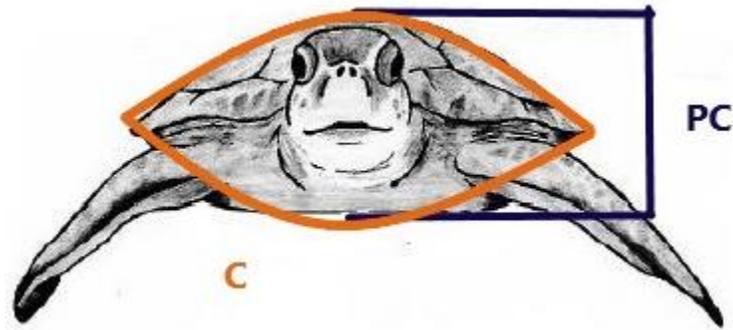


Figura 18.- Se muestran las medidas de circunferencia y profundidad del caparazón (Modificado de Pritchard y Mortimer, 2000)

Tabla 12: Medidas morfométricas de tortugas marinas (Balazs, 2000).

Abreviaturas	Medida Morfométrica	Descripción
LCCmin	Largo Curvo mínimo del Caparazón (cm)	Medida curva desde el escudo nual (precentral) hasta el punto medio de la muesca posterior entre los escudos supracaudales
LRCmin	Largo Recto mínimo del Caparazón (cm)	Medida recta desde el escudo nual (precentral) hasta el punto medio de la muesca posterior entre los escudos supracaudales
ACC	Ancho Curvo del Caparazón (cm)	Medida recta de los escudos marginales de izquierdo-derecho (zona de mayor curvatura)
ARC	Ancho Recto del Caparazón (cm)	Medida recta de los escudos marginales de izquierdo-derecho (zona de mayor curvatura)
LP	Largo del Plastrón (cm)	Medida por la sección central desde la placa intergular hasta la placa interanal
C	Circunferencia (cm)	Medida curva desde la zona de mayor curvatura del caparazón a la zona central del plastrón.
LTC	Largo Total de Cola (cm)	Medida desde el final de la placa interanal o base de la cola, hasta la punta de la cola
P	Peso corporal (kg)	

Tabla 13. Tasas de crecimiento individual Largo Curvo de Caparazón (LCC) media por clase. Se observa que los valores mayores se presentan en la clase 30-40 cm LCC.

	TCI LCC			
	30-40	40-50	50-60	70-80
Media	8.068	4.882	2.1	1.35
Error Est. de la Media	0.975	1.278	1.329	0.405
Desv. Est.	2.389	3.382	2.303	0.572
Mínimo	5.172	0.793	0	0.946
Máximo	12.373	10.826	4.563	1.755

Tabla 14. Media de tasa de incremento individual de peso corporal de la clase 30-40 y 40-50 cm LCC. Se observa una mínima diferencia entre las medias de crecimiento de ambas clases, sin embargo, la clase 40-50 cm LCC presenta valores mayores.

	TCI peso corporal por Clase	
	30-40	40-50
Media	2.581	2.998
Error Est.	0.58	0.634
Desv. Est.	1.421	1.552
Min.	1.226	1.215
Máx.	4.42	5.258

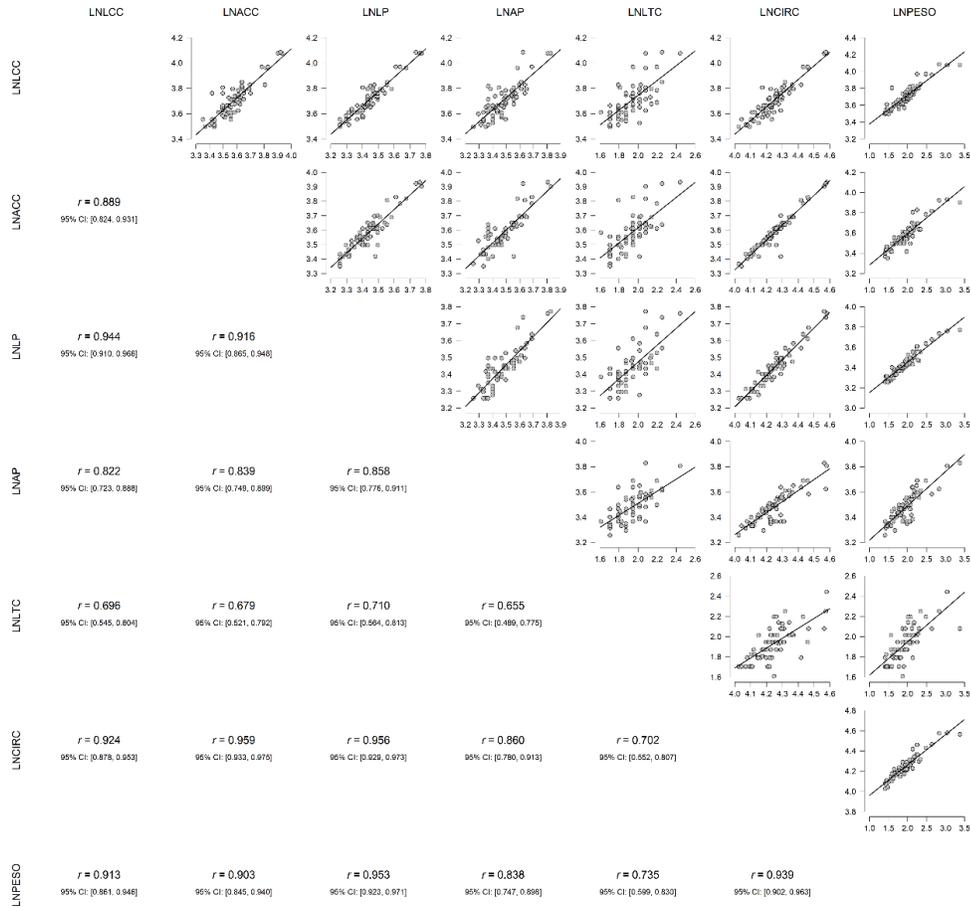


Figura 19. Matriz de correlación entre variables morfométricas LCC, ACC, LP, AP, LTC, C y P. Se pueden observar correlaciones altas entre dichas variables.