

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

Estimación de diferencias morfométricas de la Tortuga Blanca
(*Dermatemys mawii*) en El Petén.

Informe de tesis

Presentado por

Antonio Diego Alejandro Juárez Sánchez

Para optar al título de

Biólogo

Guatemala, Septiembre del 2008

Junta Directiva

| | |
|-------------------|---|
| Decano | Ph. D. Oscar Manuel Cobar Pinto |
| Secretario | Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto |
| Vocal I | Licda. Lillian Raquel Irving Antillón, M. A. |
| Vocal II | Licda. Liliana Vides de Urizar |
| Vocal III | Licda. Beatriz Eugenia Batres de Jiménez |
| Vocal IV | Br. Andrea Alejandra Alvarado Álvarez |
| Vocal V | Anibal Rodrigo Sevillanos Cambronero |

Acto que Dedico

Al G.: A.: D.: U.: por su bella creación

A mis padres Julita Sánchez y Humberto Juárez, por todo su amor, por siempre apoyarme en todas mis decisiones y ayudarme a alcanzar mis metas

A mis hermanas Elisa y Cielo por ser mis amigas y siempre estar dispuestas a escucharme

A mi sobrino Bruno por siempre ser el mismo y ser motivo de muchas alegrías

A Yasmín Quintana por estar para mí en todo momento y ser la musa inspiradora de este trabajo

Al pueblo de Guatemala por pagar mis estudios a través de sus impuestos

Agradecimientos

A todas las personas e instituciones que permitieron el buen desarrollo del presente trabajo en especial a todas aquellas personas que me acompañaron en los viajes de campo ayudando en el levantamiento de datos. Agradezco a la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología, -SENACYT- a la Organización Nacional para la Conservación y el Ambiente -ONCA- a la Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre en Guatemala -WCS- y su equipo técnico científico: Eleazar Gonzáles, Francisco Oliva, Francisco Córdova, Marcial Córdova, Luís Morales, Kender Tut, Tomás Tut, Tomás Dubón, Eliverto Muños, Yobani Tut, Rony García, José Moreira, Guillermo López y Roan Balas. Al Consejo Nacional de Areas Protegidas -CONAP- Félix Garrido, Luís Flores, Rubén Carreto, Joaquín Bonilla y Julio Madrid. Al CEMEC a Nery Solís A Defensores de la Naturaleza -FDN-, sus guardarecursos y Heidy García. A la Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación -FUNDAECO- Cleopatra Méndez, Justo Rodríguez y Marcos Tiul. Al Centro de Estudios Conservacionistas -CECON- Juan Rodas Olivares, Moisés Misti, Damario España, Sabino Mateo y Mishel Catalán. A la granja de crianza de Tortugas del Estado de Tabasco México y en especial a José Del Carmen y Casiano Méndez. A las personas que me hicieron comentarios y recomendaciones para el desarrollo científico de este trabajo: Yasmín Quintana, Julio Morales, Sergio Melgar, Everardo Barba, Claudia Centeno y Jorge Erwin López. Además a todas las personas que colaboraron conmigo sin pertenecer a ninguna institución en especial a varios comunitarios de Uaxactun y Doña Neria, por ayudarnos a salir del área de Río Azul y a José Leiva, comunitario de Sarstún quien me apoyo en el trabajo de campo en el Río Sarstún

El único límite es la imaginación

Einstein

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. Resumen..... | 11 |
| 2. Introducción..... | 12 |
| 3. Antecedentes | |
| 3.1. Tortuga Blanca..... | 13 |
| 3.2. Hábitos..... | 14 |
| 3.3. Investigaciones realizadas en Guatemala..... | 14 |
| 3.4. Área de Estudio | |
| 3.4.1. La Reserva de la Biosfera Maya..... | 16 |
| 3.4.2. Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic..... | 18 |
| 3.4.3. Área de Usos Múltiples Río Sarstún..... | 19 |
| 4. Justificación..... | 21 |
| 5. Objetivos | |
| 5.1. Objetivo General..... | 22 |
| 5.2. Objetivos Específicos..... | 22 |
| 6. Hipótesis..... | 23 |
| 7. Materiales y Métodos | |
| 7.1. Estrategia Metodológica | |
| 7.1.1. Universo..... | 24 |
| 7.1.2. Población..... | 24 |
| 7.1.3 Muestra..... | 24 |
| 7.2. Materiales..... | 24 |
| 7.3. Métodos..... | 25 |
| 7.3.1. Diseño Experimental..... | 26 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 7.3.2. Fase de Campo | |
| 7.3.2.1. Método de Trasmallo..... | 27 |
| 7.3.2.2. Toma de Datos..... | 27 |
| 7.3.3. Fase de Laboratorio..... | 29 |
| 7.3.3.1. Morfometría Tradicional..... | 30 |
| 7.3.3.2. Morfometría Geométrica..... | 30 |
| 7.3.4 Análisis..... | 31 |
| 8. Resultados..... | 34 |
| 9. Discusión de Resultados..... | 66 |
| 10. Conclusiones..... | 75 |
| 11. Recomendaciones..... | 77 |
| 12. Referencias | 78 |
| 13. Anexos..... | 82 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| 1. Mapa de la Biosfera Maya..... | 17 |
| 2. Mapa de cuencas de El Petén..... | 18 |
| 3. Mapa de cuencas de Izabal..... | 20 |
| 4. Medidas tomadas en el campo directamente sobre las tortugas capturadas..... | 28 |
| 5. Ejemplo de posicionamiento de coordenadas en las escamas del plastrón..... | 30 |
| 6. Sobreposición de las coordenadas x y y de todos los plastrones..... | 35 |
| 7. Sobreposición de las coordenadas x y y de todos los plastrones después del arreglo de escala, orientación y posición utilizando las coordenadas de Bookstein..... | 36 |
| 8. ACP utilizando las coordenadas de Bookstein contrastando sitios y sexos..... | 37 |
| 9. ACP utilizando morfometría tradicional, contrastando sitios y sexos, muestra el CP 1 y 2 | 38 |
| 10. ACP utilizando morfometría tradicional, contrastando sitios y sexos, muestra el CP 2 y 3 | 39 |
| 11. ACP utilizando coordenadas de Bookstein utilizando contrastando tallas de tortugas provenientes de la granja del gobierno de Tabasco, México..... | 40 |
| 12. Variación de cada punto en el CP1 del ACP indicando la variación de estos de acuerdo al desarrollo..... | 41 |

| | |
|---|----|
| 13. ACP utilizando las distancias entre puntos de de tortugas provenientes de la granja del gobierno de Tabasco, México, contrastando rangos de tamaño..... | 41 |
| 14. Curva de regresión para tortugas de la granja del gobierno de Tabasco, México, contrastando W y LLP..... | 42 |
| 15. Curva de regresión de crecimiento para tortugas de laguna El Perú..... | 43 |
| 16. Caja de sesgo para la relación W/LLP en tortugas adultas..... | 44 |
| 17. Perfil de Guillaumin para coordenadas de Bookstein al contrastar cuencas..... | 50 |
| 18. ACP contrastando distintas cuencas, utilizando morfometría geométrica..... | 51 |
| 19. Variación de coordenadas en el CP1 del ACP a partir de la forma media, contrastando distintas cuencas, utilizando morfometría geométrica..... | 51 |
| 20. ADC con los eigenvalores producidos del ACP de las coordenadas de Bookstein..... | 52 |
| 21. Curva de regresión entre la variable isométrica y LLP..... | 54 |
| 22. Curva de regresión entre la segunda variable isométrica y LLP..... | 55 |
| 23. ACP contratando distintas cuencas, utilizando morfometría tradicional..... | 60 |
| 24. ADC contrastando distintas cuencas, utilizando morfometría geométrica, graficando CP 2 y 3..... | 62 |
| 25. ACP contratando distintas cuencas, utilizando morfometría tradicional, graficando CP 2 y 3..... | 62 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| 1. Proporciones de zonas de manejo en la RBM..... | 16 |
| 2. Número de especímenes de cada localidad muestreada..... | 34 |
| 3. Distribución de tallas de tortugas capturadas..... | 40 |
| 4. Regresión para la curva de crecimiento de tortuga blanca en cautiverio.... | 42 |
| 5. Regresión entre LLP y W para tortugas de laguna El Perú..... | 43 |
| 6. Estadística descriptiva de la relación W/LLP en tortugas adultas..... | 44 |
| 7. Kruskal-Wallis para la relación W/LLP en tortugas adultas..... | 44 |
| 8. Regresión de medidas tomadas en el campo contra tallas (LLP)..... | 45 |
| 9. Estadística descriptiva de distintas proporciones del caparazón y la cabeza en tortugas de la granja del gobierno de Tabasco, México..... | 46 |
| 10. Pruebas de Kruskal-Wallis para proporciones del caparazón y cabeza contrastando sitios..... | 47 |
| 11. Pruebas de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk a la distribución normal para coordenadas de Bookstein en morfometría geométrica..... | 48 |
| 12. Prueba de varianza de Kruskal-Wallis contrastando las tres cuencas y los cuatro sitios por cada variable de las coordenadas de Bookstein en morfometría geométrica..... | 49 |
| 13. Pruebas de Varianza Multivariada para los cuatro grupos de tortugas, utilizando morfometría geométrica..... | 53 |
| 14. Regresión de la variable isométrica contra LLP..... | 53 |
| 15. Regresión de la segunda variable isométrica contra LLP..... | 54 |

| | |
|---|-----------|
| 16. Regresión entre todas las variables de morfometría tradicional y la variable isométrica..... | 56 |
| 17. Regresión entre el LLP y los cuatro primeros CP en el ACP utilizando las coordenadas de Bookstein..... | 60 |
| 18. Regresión entre el LLP y los cuatro primeros CP en el CVA utilizando las coordenadas de Bookstein..... | 61 |
| 19. Regresión entre el LLP y los cuatro primeros CP en el ACP utilizando morfometría tradicional..... | 61 |
| 20. Comprobación de simetría del plastrón de tortugas comparando medidas equivalentes, utilizando la prueba de T de Student..... | 63 |

Abreviaturas

AC: Ancho de la Cabeza

ACC: Ancho Circular del Caparazón

ACP: Análisis de Componentes
Principales

ADC: Análisis Discriminante Canónico.

ALC: Ancho Lineal del Caparazón

ALP: Ancho Lineal del Plastrón

Alto: Alto del Caparazón

CECON: Centro de Estudios
Conservacionistas

CP: Componente Principal

FUNDAECO: Fundación para el
Ecodesarrollo y la Conservación

FDN: Fundación Defensores de la
Naturaleza

L Cola: Largo de la Cola

LC: Largo de la Cabeza

LCC: Largo Circular del Caparazón

LCP: Largo Circular del Plastrón

LLC: Largo Lineal del Caparazón

LLP: Largo Lineal del Plastrón

LPD: Largo del Puente Derecho

LPI: Largo del Puente Izquierdo

ONCA: Organización Nacional para la
Conservación y el Ambiente

WCS: Sociedad para la Conservación
de la Vida Silvestre

UICN: Unión Mundial para la
Naturaleza

CITES: Convenio sobre el Comercio
Internacional de Especies de Fauna y
Flora Silvestre Amenazadas

CONAP: Consejo Nacional de Áreas
Protegidas

RBM: Reserva de Biosfera Maya

W: Peso

1. Resumen

La Tortuga Blanca (*Dermatemys mawii* Gray, 1847: Dermatemydidae) es una tortuga de agua dulce que posee una adaptación a un hábito completamente acuático. Sus movimientos en la tierra se limitan a los momentos de oviposición, el macho nunca sale del agua. La anidación se da cerca a la orilla del espejo de agua, en ocasiones dentro del área de inundación. Su distribución se limita a la península de Yucatán.

Dermatemys mawii se encuentra altamente amenazada tanto por la pérdida de su hábitat, como por su explotación como delicadeza culinaria. Se encuentra en la Lista Roja de CONAP, en el apéndice II de CYTES y dentro de las 20 tortugas en mayor peligro de extinción a nivel mundial según los criterios de la UICN.

Debido a sus hábitos acuáticos, la única forma de dispersión natural es a través de los cuerpos de agua. En el presente trabajo se compraro la morfometria de la concha de la tortuga blanca en distintas macro cuencas, haciéndo énfasis en el análisis morfométrico de la posición de las uniones o suturas de las escamas (escudos) del plastrón. Se obtuvo evidencia de un proceso de especiación alopátrica que está sufriendo la tortuga blanca que se ve reflejada en la forma de la disposición de sus escamas en el plastrón. En la comparación morfométrica se encontró mayor similitud entre tortugas provenientes de las mismas macrocuencas, posteriormente son mas similares entre si las tortugas de las macrocuencas del Río Usumacinta y la del río Mopán comparadas con la de la macrocuenca del Río Azul. Las tortugas de la macrocuenca del río Azul son más parecidas a la macrocuenca del Río Usumacinta que las del la macrocuenca del río Mopán. Además se discute sobre la evolución de la temperatura umbral de incubación en *D. mawii*, y como ésta fué determinada en un ambiente similar al encontrado en la actualidad en Río Azul. Y cómo el impacto antropogénico puede llevar a un proceso de extinción a ésta especie al cambiar las condiciones de incubación y las estrategias de reproducción de ésta tortuga.

Palabras clave: *Dermatemys mawii*, plastrón, escamas, morfometría, cuenca.

2. Introducción

La Tortuga Blanca (*Dermatemys mawii* Gray, 1847: Dermatemydidae) habita en ecosistemas de agua dulce, presentando una adaptación a un hábito completamente acuático, saliendo a la tierra únicamente para ovipositar, no muy lejos de la línea de agua (Lee 1969, Lee 1996, Campbell 1998, Köler 2003).

Anteriormente la familia Dermatemydidae poseía una distribución muy amplia, pero en la actualidad se restringe a la parte Norte de Mesoamérica, en las cuencas atlánticas, siendo representada únicamente por una especie: *Dermatemys mawii*, la cual es considerada un fósil viviente (Lee 1996, Campbell 1998). La Tortuga Blanca se encuentra altamente amenazada por la pérdida de su hábitat, y su explotación cinegética, por lo cual se hace necesario obtener información básica que permita desarrollar políticas para su conservación (Polisar y Horwich 1994, Mittermeier, 1970).

Debido a sus hábitos acuáticos, la única forma de dispersión natural es a través de los cuerpos de agua, esto puede haber aislado grupos en los distintos cuerpos de agua separados unos de otros por trechos extensos de tierra. Es por ello que resulta interesante la medición del efecto que ha podido tener éste aislamiento en la morfología de las tortugas, como indicador de divergencia genética.

Con la presente investigación se determinó la existencia de diferencias en la forma de la caparazón de tortugas provenientes de tres cuencas hidrográficas en El Petén, Guatemala y Tabasco México (cuenca del Río Usumacinta, cuenca del Río Azul y cuenca del Río Mopán) a través de un análisis morfométrico. El evidenciar una mayor diversidad morfológica en los caparazones de tortuga blanca, provenientes de distintas regiones, incrementaría el valor de biodiversidad en la región. Lo cual es importante tomar en cuenta cuando se consideran las amenazas a las que se encuentra sometida esta especie.

3. Antecedentes

3.1. Tortuga blanca (*Dermatemys mawii*: Dermatemydidae)

Es una tortuga que habita en aguas dulces y salobres, es de gran tamaño, con dimensiones de largo total del caparazón que van de 342-480 mm. para hembras y 342-450 mm. para machos (Polisar 1995). Alcanza un peso de hasta 22 Kg. (Lee 1996). Sus hábitos son exclusivamente acuáticos, sale a tierra únicamente para ovipositar y no se asolea sobre troncos como otras tortugas de agua dulce; frecuentemente se le observa flotando en la superficie del agua, aparentemente tomando el sol (Lee 1969, Lee 1996, Campbell 1998, Köler 2003)

Su caparazón es de forma aplanada y pierde las suturas conforme la edad, dándole una apariencia lisa y suave. El borde del caparazón es liso, presentando cerraduras únicamente en su estadio de neonatos. El color del caparazón café oscuro o gris oliváceo. El plastrón es rígido, de coloración crema, y con un número de escudos variable. La cabeza es de tamaño pequeño para una tortuga de su talla, la nariz es ligeramente tubular y levemente orientada hacia arriba. En machos al alcanzar la madures sexual, la parte superior de la cabeza se torna color amarillo o naranja encendido, mientras en juveniles y hembras presenta una coloración gris oliva. Cuenta con membranas interdigitales en las patas y difícilmente logra levantar la cabeza cuando se encuentra fuera del agua (Lee 1969, Lee 1996, Campbell 1998, Köler 2003). Las mandíbulas tienen bordes cerrados que usa para cortar sus alimentos, la cola de los machos es bastante grande, mientras en las hembras apenas llegan al borde del caparazón (Lee 1969, Lee 1996, Campbell 1998, Köler 2003).

3.2. Hábitos

Su dieta es principalmente vegetal, pero eventualmente pueden consumir proteína animal (Lee 1969, Moll 1989, Lee 1996, Campbell 1998, Köler 2003). La reproducción se lleva a cabo principalmente durante la temporada de inundaciones, y cada hembra deposita de 6 a 39 huevos por nidada, pudiendo depositar hasta 3 nidadas por temporada (Lee 1969, Vogt y Flores-Villela 1992a, Polisar 1995, Lee 1996, Campbell 1998, Köler 2003).

Los huevos llegan a medir de 57-70 mm de largo y 32-43 mm de ancho, con un peso de 34-75 g (Lee 1969, Vogt y Flores-Villela 1992a, Polisar 1995, Lee 1996, Campbell 1998, Köler 2003). Los huevos presentan diapausa embrionaria, lo que les permite soportar estar bajo del agua hasta 20 días y seguir siendo viables, esto le es favorable cuando sabemos que las hembras colocan sus nidos muy cerca del agua debido a su muy limitada capacidad de locomoción en la tierra (Vogt y Flores-Villela 1992b). El tiempo de incubación de los huevos varía de 115 a 223 días, y se ha reportado que su temperatura umbral (temperatura a la cual el 50 % de las crías son machos y el 50 % son hembras) se encuentra entre los 27 y 28° C (Vogt y Flores-Villela 1992b). Las crías al nacer pesan de 18 a 35 g y el largo de su caparazón va de 51-58 mm (Vogt y Flores-Villela 1992a).

3.3. Investigación realizada en Guatemala

En 1969, Lee publica un artículo con observaciones generales sobre la tortuga blanca en el Lago de Izabal, donde reporta que existía una población aparentemente abundante con especímenes de gran tamaño. En la actualidad los pobladores consideran que ésta especie es rara en el área, Quintana-Morales descubrió en el 2005, el cadáver putrefacto de un individuo con un anzuelo inserto en la boca, lo que supone la presencia de una población residente de ésta especie (Quintana-Morales com. pers. 2005).

En 1970, Mittermeier visita los mercados de Centroamérica en búsqueda de tortugas, y reporta el comercio de varias especies, pero a pesar de haber registrado referencias sobre el comercio de la tortuga blanca (*Dermatemys mawii*) en los mercados guatemaltecos de ese tiempo, no pudo documentarlo debido a que su trabajo coincidió con una temporada en que no se explotaba la especie.

Desde los años setentas, nadie ha realizado investigación directamente con *Dermatemys mawii*. En la actualidad existen dos iniciativas de investigación con esta especie, una dirigida por García y su grupo de trabajo en WCS-Guatemala, quienes buscan realizar un modelaje del estado de conservación de la especie en la Selva Maya, basándose en sus abundancias y amenazas en cada sitio (García *et al.* 2005). La otra iniciativa esta dirigida por Juárez, Quintana y Morales de La Organización Nacional para la Conservación y el Ambiente (ONCA), quienes buscan medir la diversidad de esta especie a lo largo de su distribución y llenar los vacíos de conocimiento que se tiene, siendo la presente investigación parte de este programa de investigación.

Después de las anteriores consideraciones, planteo que el conocer las diferencias morfológicas, entre distintas poblaciones de tortuga blanca, permitirá identificar áreas prioritarias para su conservación. Esto basándose en la importancia que representa para un sitio, el tener formas únicas de una especie, lo cual redundará en poseer una mayor biodiversidad.

3.4. Área de Estudio

3.4.1. La Reserva de la Biosfera Maya –RBM-

Es un sitio declarado área protegida desde 1990, con la intención de preservar el mayor bloque de bosque Neotropical continuo de Mesoamérica, con dos millones de hectáreas de bosque. El área esta zonificada en tres tipos de manejo, los cuales implican distintas políticas de conservación y usos del bosque: Zona Núcleo, Zona de Usos Múltiples y Zona de Amortiguamiento (Tabla 1, Figura 1) (Radachowsky, *et al.* 2004).

Tabla 1: Proporciones de las tres zonas de manejo de la Reserva de la Biosfera Maya –RBM- (Datos tomados de Radachowsky, *et al.* 2004)

| Zona | % área |
|-------------------------|----------------------|
| Zona Núcleo | 36 |
| Zona de Usos Múltiples | 40 |
| Zona de Amortiguamiento | 24 (15 Km. de ancho) |

La Zona Núcleo está constituida por los Parques Nacionales, que se encuentran distribuidos en la periferia de la reserva, en donde pueden estar sometidos a una alta presión en sus fronteras. La Zona de Usos Múltiples, esta formada principalmente por concesiones forestales y los llamados “Corredores Biológicos” (que han sido designados sin mayor base biológica). Y la Zona de Amortiguamiento que es una franja de 15 Km. de ancho situada al Sur de la reserva (Radachowsky, *et al.* 2004).

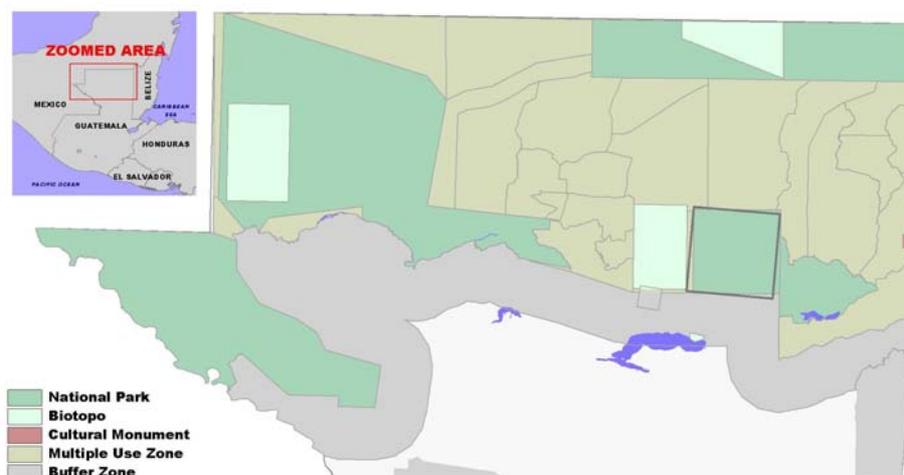


Figura 1: Mapa de la Reserva de la Biosfera Maya, El Petén, Guatemala. (Fuente: CEMEC, CONAP, El Petén).

Dentro de la RBM se encuentran tres cuencas hidrográficas bien marcadas (Figura 2). La primera se encuentra el Oeste de la reserva, esta representada por el Río San Pedro, que desemboca en el Usumacinta, el cual le permite comunicarse con otros ríos tributarios, como el Río La Pasión, ubicado en el Sur. Esta área fue de gran importancia en el siglo pasado, cuando se efectuaron grandes explotaciones de madera, que se transportaba principalmente a través de estos ríos. Aún tiene una gran importancia en el comercio con México y tráfico ilícito de vida silvestre.

La segunda cuenca se encuentra ubicada en dirección Noreste, representada por el Río Azul, que toma el nombre de Río Hondo al entrar a México. En el área de Guatemala se encuentra aislado de poblados humanos (lo que plantea poca presión de cacería sobre las poblaciones de tortuga blanca). El Río Azul esta formado por una serie de posas permanentes y algunas intermitentes que presentan corriente únicamente durante la temporada lluviosa.

La tercera cuenca, es la tributaria a la Laguna Yaxha (Cuenca Río Mopán), que se encuentra al Sureste de la Reserva de Biosfera Maya. Es un área con una serie de lagunas medianas con distintos grados de intervención humana con una fuerte actividad ganadera hacia el Sur y reservas hacia el Norte.



Figura 2: Mapa de cuencas de El Petén, Guatemala. Fuente INAB.

3.4.2. Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic

Se encuentra ubicado en el municipio El Estor, Izabal, en la Latitud: 15°28'0'' Longitud: 89°21'22''; cuenta con un área de 20,760 ha. Es co-administrado por la Fundación Defensores de la Naturaleza -FDN- y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- desde 1997, y fue declarado sitio RAMSAR en 1996. Está dividido en Zona Primitiva (44%), una Zona de Recuperación (20%), una Zona de Aprovechamiento Sostenible (30%) y una Zona de Uso Extensivo (6%) (Pizarro 2001, Fundación Defensores de la Naturaleza 2004, Vásquez 2000). Esta formado por bosque, llanuras inundables y ríos. Según Holdridge, se clasifica en la Zona de Vida "Bosque muy Húmedo Sub-Tropical Cálido", con temperaturas máxima de 32°C, mínima de 20°C, y humedad relativa entre 75-100% (Defensores de la Naturaleza 2004). Su Hidrología esta determinada principalmente por el río Polochic, y los principales cuerpos de agua son los ríos: Polochic, Oscuro, Chinebal Zarquito, Juncal, Padre Creek, Amatillo y Setal; ensenada Bocancha y Los Lagartos; lagunetas El Bujajal, el Amatillo, Cayo Padre y meandros a ambos lados del Río Polochic (Defensores de la Naturaleza 2004).

Existen 8 comunidades Maya Q'eqchi'és en su Zona de Influencia, las cuales se dedican a la agricultura de subsistencia, pesca, comercio y artesanías. Se estima que las pesquerías del refugio representan ingresos económicos para unas 600 familias de la región (Fundación Defensores de la Naturaleza 2004). Esta reserva permite asegurar la protección de la biodiversidad y los procesos ecológicos que se desarrollan en ella. Es un sitio importante para la reproducción de especies acuáticas, lo cual permite la explotación para el comercio y subsistencia de especies de consumo humano, dando oportunidad para que cientos de pescadores y comerciantes puedan generar sus ingresos mínimos (Fundación Defensores de la Naturaleza 2004).

Existen varias amenazas en el refugio, entre ellas la realización de actividades agrícolas, ganaderas, minería, asolvamiento debido a la deforestación, extracción excesiva de recursos naturales, como la sobrepesca, la extracción de madera para consumo, la cacería sin control y el comercio de especies silvestres. A esto se suma la poca presencia del estado y la falta de cumplimiento de la ley, además la conflictividad social que dificulta implementar actividades de manejo del área.

3.4.3. Área de Usos Múltiples Río Sarstún

Se localiza entre Guatemala y Belice, en el municipio de Livingston, departamento Izabal. La reserva abarca un total de 9,600 ha. De acuerdo a la clasificación del sistema Thornwaite, la zona es de carácter muy cálido, muy húmedo, con invierno benigno, sin estación seca bien definida; la vegetación característica es selva, y según el sistema de clasificación por Zonas de Vida de Holdridge, se clasifica como bosque muy húmedo sub-tropical cálido, cuya temperatura que oscila entre 21 y 25°C (Vásquez 2000).

Dentro de la zona de influencia se pueden identificar tres grupos sociales bien definidos. Estos son los ladinos, Q'eqchi'és y Garífunas. El número total de comunidades dentro del área es de 37 que varían en tamaño de 50 a 455 personas.

En 1996 se registraron 3,484 habitantes. En el censo de 1994 se registró un 42% de personas alfabetizadas. En general no existen servicios básicos y son poblados de escasos recursos (Vásquez 2000).

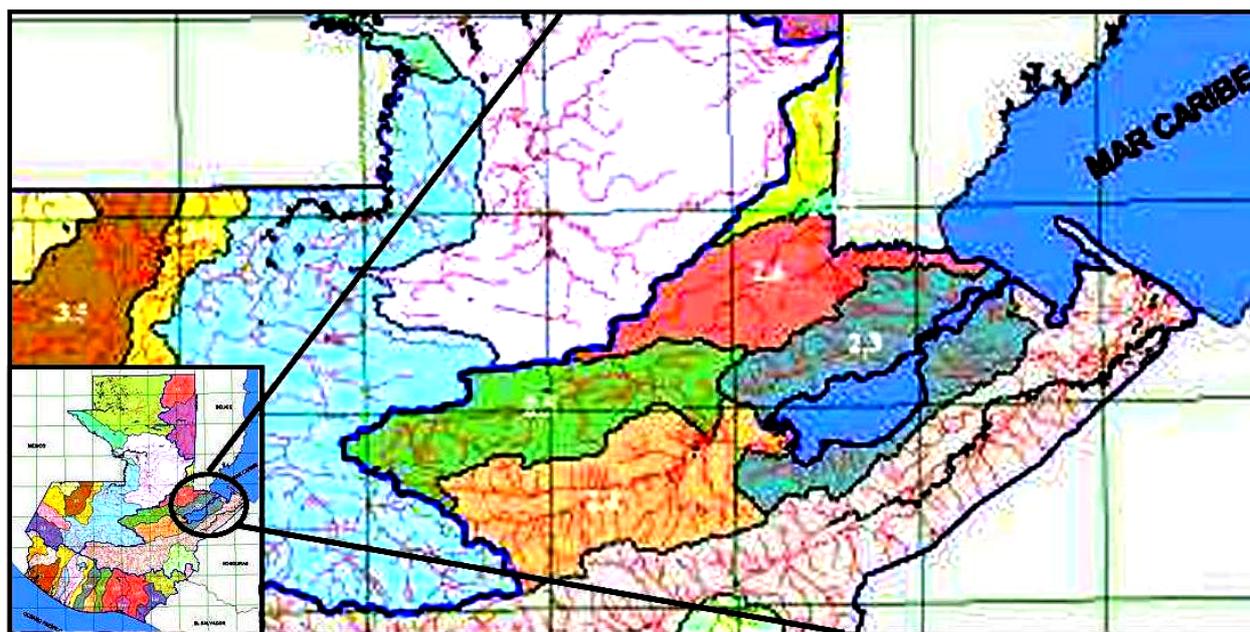


Figura 2: Mapa de cuencas de Isabal, Guatemala. Fuente INAB.

4. Justificación

La tortuga blanca (*D. mawii*), es la única especie representante de su familia (Dermatemydidae) en la actualidad. Es una especie longeva con pocos depredadores naturales, que se encuentra altamente amenazada por su explotación como delicadeza culinaria, con un sesgo sobre los individuos más grandes, que son los encargados de producir las siguientes generaciones, así como por la degradación de su hábitat (Polisar 1995).

La Península de Yucatán (área de distribución de *D. mawii*), es un área relativamente homogénea, con cuerpos de agua permanentes que se encuentran muy bien definidos y separados entre sí, por amplias extensiones de tierra que por su topografía impiden la interconexión de los cuerpos de agua aún en temporada de lluvia, cuando se presentan algunas inundaciones.

Tomando en cuenta que el aislamiento de los cuerpos de agua puede generar distintos focos de especiación en las especies exclusivamente acuáticas, por la falta de flujo génico. Por su poca movilidad en el ambiente terrestre, *D. mawii* se considera una especie adecuada para estudiar las divergencias genéticas, producto del aislamiento reproductivo, la cual se verá reflejada en la forma de sus caparazones. La presencia de distintas formas de los caparazones de tortuga blanca implicaría mayor diversidad genética de la especie en el área y conocer ésta es de utilidad para el desarrollo del diseño de una buena estrategia de conservación. Por ello, en ésta investigación se busca conocer si existen diferencias en las formas del caparazón de las tortugas blancas a lo largo de su distribución.

5 Objetivos

5.1. General

Conocer si existen diferencias de forma en *D. mawii* provenientes de distintas cuencas de su distribución

5.2. Específicos

Analizar si existen diferencias morfométricas entre sexos y edades de tortuga blanca (*D. mawii*)

Analizar si existen diferencias morfométricas entre poblaciones de tortuga blanca (*D. mawii*) provenientes de distintas cuencas hidrográficas.

6. Hipótesis

El aislamiento geográfico de las cuencas hidrográficas, ha provocado la aparición de distintas formas de la tortuga blanca (***Dermatemys mawii***) en las diferentes áreas de su distribución.

7. Materiales y Métodos

7.1. Estrategia metodológica

7.1.1 Universo de trabajo: Las poblaciones de tortuga blanca (*D. mawii*) a lo largo de su distribución.

7.1.2. Población: Las tortugas blancas (*D. mawii*) de las cuencas del Río San Pedro, Río Azul y Laguna Yaxha.

7.1.3. Muestra: Las tortugas capturadas en cada una de las cuencas capturadas de Marzo del 2006 a Marzo del 2007.

7.2. Materiales

Equipo

- ◇ 5 trasmallos hilo 0.40 con luz de maya de 17.5 cm, un alto de 8.97 m y un largo de 50 m
- ◇ 1 lancha 3 * 1.5 m
- ◇ 1 motor de 8 caballos de pata corta.
- ◇ 1 calibrador de 1 m
- ◇ 1 calibrador de 30 cm
- ◇ 2 cintas métricas
- ◇ 2 reglas graduadas en cm
- ◇ 150 boletas de datos
- ◇ 1 cámara digital Canon EOS Rebel XT
- ◇ 1 trípode
- ◇ 1 computadora portátil COMPAQ Presario X1000 con procesador Centrino™
- ◇ 3 GPS eTrex Garmin
- ◇ 3 Carpas
- ◇ 3 mochilas

- ◇ 1 Carro para el transporte en el campo
- ◇ 2 Linternas de cabeza
- ◇ 1 linterna grande 12 vol

Suministros

- ◇ 1 Programa NTSYSpc2
- ◇ 1 Programa Past
- ◇ 1 Programa Bioestat
- ◇ 1 Programa SPSS
- ◇ 1 Programa TPSdig2
- ◇ 1 Programa TPSrelw
- ◇ 1 Programa TPSutil
- ◇ Combustible y aceite para el carro y la lancha
- ◇ Esmalte de uñas de distintos colores
- ◇ Baterías de distintos tamaños para GPS y linternas
- ◇ 1 bola de estopa (wipe)

Personal

- ◇ 1 Coordinador de proyecto
- ◇ 1 auxiliar de campo
- ◇ De 2 a 4 técnicos de campo

7.3. Métodos

Se realizó un análisis morfométrico del plastrón de las tortugas blancas, capturadas en tres cuencas hidrográficas: Río Azul, Río San Pedro, Laguna Yaxha - Río Mopán; utilizando medidas lineales y circulares tomadas directamente del espécimen en el campo, así como de imágenes digitales.

Mensualmente se realizaron salidas de campo de 5 a 20 días, dependiendo de la lejanía del lugar y de la cantidad de tortugas encontradas. La cantidad de muestreos

por cuerpo dependió de cuantas tortugas se capturaban, tratando de obtener el mayor número posible de individuos capturados. Aunque también influyó en el muestreo, el tamaño de los cuerpos de agua, las condiciones ambientales y logística.

7.3.1. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño factorial para el análisis de los datos dividiéndolos como se explica a continuación: Se hizo una división de en tres bloques los cuales corresponde a cada una de las tres cuencas muestreadas, Cuenca del Río Azul (Río azul), Cuenca del Río Usumacinta (Perú, Río San Pedro y Tabasco) y Cuenca del Río Mopan (Laguna Salpetén y Laguna Sacnab en Yaxha)

A cada uno de estos bloques se les dividió en estratos dependiendo el sexo y edad (calculada en función del Largo Lineal del Plastrón, LLP) de las tortugas.

Para fines de esta investigación no se requirió de un diseño de levantamiento de datos en el campo, ya que la meta principal era capturar el mayor número de tortugas posible en cada sitio, sin embargo se siguió la metodología utilizada por WCS ya que ellos analizarían los datos ecológicos de la especie.

Por lo tanto, la disposición de los trasmallos en el campo fue de la siguiente manera: Los cuerpos de agua se dividieron a lo largo, en tres partes. En cada una se realizó un esfuerzo de 24 horas, siendo un total de 72 horas de esfuerzo en cada muestreo por cuerpo de agua, esto con la intención de capturar las tortugas dispersas en el lugar, tomando en cuenta la movilidad de estos individuos, cuidando de marcar los individuos para reconocerlos en caso de recaptura.

Esto se repitió 3 veces en cada lugar donde se encontró la mayor abundancia de tortugas. Se tomaron las medidas respectivas y las imágenes digitales, como se explica posteriormente en la toma de datos.

7.3.2. Fase de Campo

7.3.2.1. Método de Trasmallo

Se utilizaron 5 trasmallos de hilo calibre 0.40, con luz de malla de 17.5 cm., 8.97 m. de alto y 50 m. de largo. Estos se colocaron a lo ancho del cuerpo de agua, en lugares poco profundos que permitiera la formación de bolsas en el trasmallo donde quedarán atrapadas las tortugas, evitando dejar espacios entre el fondo y la línea final del trasmallo, donde las tortugas pudieran escapar. Los sitios de ubicación de trasmallos fueron principalmente, áreas con poca corriente, como lagunas y remansos de ríos.

Los trasmallos fueron revisados periódicamente, durante 24 horas en intervalos de dos horas para evitar que las tortugas capturadas se lastimaran o ahogaran. Además de liberar el espacio en los trasmallos, y que esto no afectara el seguir obteniendo capturas.

Una vez capturadas las tortugas, se trasladaron al área de trabajo ubicada a orillas de los cuerpos de agua, para realizar la toma de datos, y posteriormente se liberaban en lugares lejanos a la ubicación de los trasmallos para evitar su recaptura, y el estrés que esto causa al animal.

7.3.2.2. Toma de Datos

Para la toma de datos se elaboraron boletas de campo, donde se anotó la localidad de captura, fecha y las distintas medidas físicas establecidas previamente (figura 4):

- Largo del caparazón, lineal y circular (LLC, LCC),
- Ancho del caparazón, lineal y circular (ALC, ACC),
- Largo del plastrón, lineal y circular (LLP, LCP),
- Ancho circular del plastrón (ACP),

- Largo de ambos puentes (LPI, LPD),
- Largo de la cola (Lcola),
- Largo y ancho de la cabeza (LC,AC),
- Alto del caparazón (ALTO) y
- Peso (W).

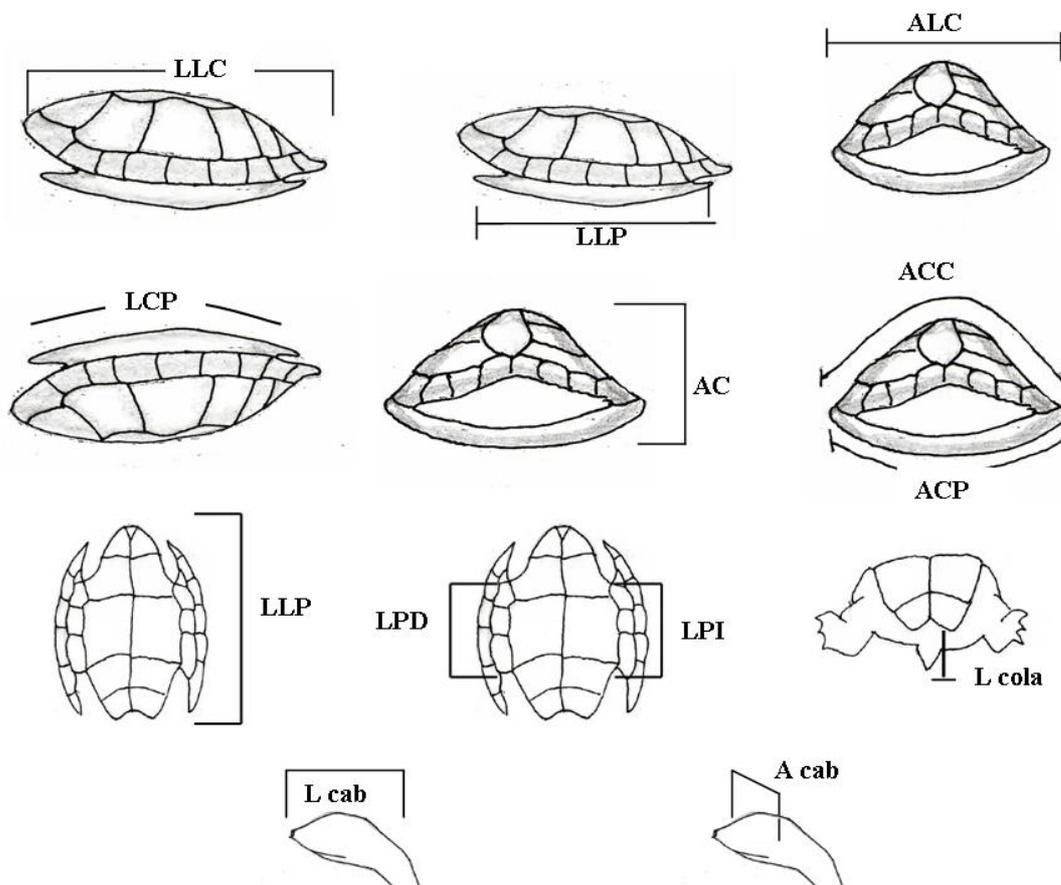


Figura 4: Medidas tomadas en el campo directamente sobre las tortugas capturadas. (Dibujos por Yasmín Quintana)

Las medidas lineales se hicieron utilizando calibradores de 1 m y 30 cm, y para las medidas circulares se utilizó una cinta métrica. Las primeras medidas indican el tamaño del animal y las medidas circulares, permiten tener una idea de la forma tridimensional del caparazón. También se registró el peso de cada animal, utilizando balanza con precisión de +/- 0.5 lb.

Se tomaron imágenes digitales del plastrón de cada individuo, para ello se utilizó una cámara digital Canon Rebel XT, una regla con escala en cm. usada como referencia para medir el tamaño de la tortuga, y una etiqueta con el código de la misma. En algunos casos donde el plastrón estaba raspado, fue necesario identificar con marcador las suturas, para no tener dificultad en el análisis posterior. Se tomaron al menos tres fotografías digitales por cada espécimen trabajado. También se tomaron imágenes digitales de caparazones de tortugas muertas encontrados a las orillas de los cuerpos de agua, caparazones depositadas en los museos de Guatemala, e individuos de la granja de reproducción de tortugas del Estado de Tabasco.

7.3.3. Fase de Laboratorio

En el laboratorio de cómputo se escogieron las imágenes adecuadas para trabajar, descartando todas aquellas donde no fueran observables con claridad las uniones de las escamas del plastrón. Estas imágenes se utilizaron en el análisis morfométrico detallado a continuación.

A partir de las imágenes digitales de cada tortuga se tomaron coordenadas de los puntos seleccionadas en la uniones de las escamas del plastrón utilizando el programa TpsDig 2 (Rohlf, 2005) (ver Figura 5) generando una base de datos en la cual gráficamente cada tortuga cuenta con una nube de puntos, correspondientes a estas uniones de las escamas, expresados en coordenadas de dos dimensiones (X,Y). Para contar con todas las coordenadas bajo una misma escala y corregir posibles errores en la distancia a la cual la fotografía fue capturada a cada imagen se le dio una escala, indicándole al programa que la distancia de un punto M a un punto N correspondía a 10 mm, basados en la regla graduada colocada a la par de la tortuga. A partir de estas coordenadas se realizó tanto el análisis morfométrico tradicional como el geométrico. Se llevó a cabo análisis univariados y multivariados para encontrar las posibles similitudes o disimilitudes de forma entre las poblaciones de distintas regiones. Para esto se utilizó el programa PAST (Hammer, Harper y Ryan 2006).

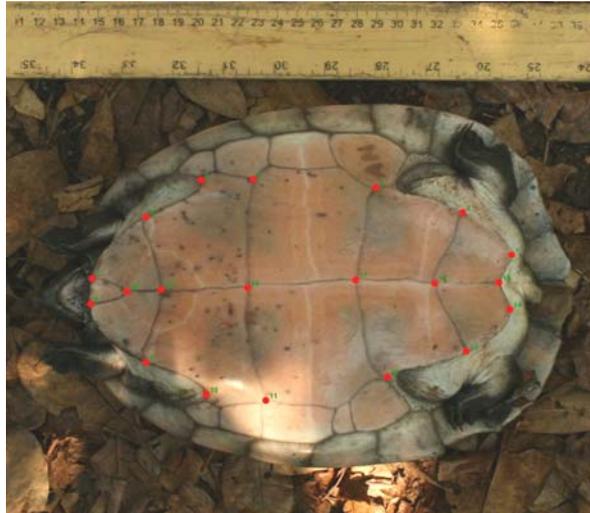


Figura 5: Ejemplo de posicionamiento de coordenadas en las escamas del plastrón en un espécimen capturado en Río Azul, utilizando el programa TPSDig2 (Rohlf 2005). Se observa la regla graduada en cm. y pulgadas utilizada para corregir la escala de cada imagen

7.3.3.1. Morfometría Tradicional: Se estimaron todas las distancias posibles entre cada punto, utilizando el programa PAST (Hammer, Harper y Ryan, 2006). Con estas nuevas variables se realizó el análisis de ordenación.

7.3.3.2. Morfometría Geométrica: Se utilizó la metodología desarrollada por Bookstein (Bookstein 1997, Zelditch *et al.* 2004) en la cual se corrige las diferencias de escala, orientación y posición del espécimen utilizando la siguiente fórmula:

$$SCx = \frac{(Bx-Ax)(Cx-Ax)+(By-Ay)(Cy-Ay)}{(Bx-Ax)^2+(By-Ay)^2}$$

$$SCy = \frac{(Bx-Ax)(Cy-Ay)+(By-Ay)(Cx-Ax)}{(Bx-Ax)^2+(By-Ay)^2}$$

Donde

Bx y By corresponden a las coordenadas de un punto B colocado de preferencia a un extremo y sobre uno de los ejes de crecimiento del espécimen.

A_x y A_y corresponden a un punto A colocado al opuesto de B con las mismas características de este último.

C_x y C_y corresponden a las coordenadas del punto al cual se quiere mover para realizar la corrección de escala, orientación y posición.

SC_x y SC_y corresponden a las coordenadas corregidas del punto C

Esta fórmula coloca a B en la posición 1,0 y A en 0,0; arrastrando el resto de los puntos C_i . Aplicando esta fórmula a todos los puntos de la nube de cada espécimen, se consigue que todos los plastrón se encuentren en una misma posición, orientación y tengan el mismo tamaño, dejando únicamente las diferencias de forma (Figura 5 y 6). Después de aplicada esta transformación se han perdido cuatro variables que corresponden a las coordenadas de los puntos B y A.

7.3.4. Análisis

Para cada variable se realizó una prueba de Shapiro-Wilk como prueba de bondad de ajuste para comprobar la normalidad de los datos, luego una prueba de F para evaluar si las varianzas de los distintos sitios eran similares. Si en las anteriores se encontraba normalidad y las varianzas de todos los sitios eran similares (homocedasticidad) entonces se realizaba un ANDEVA, para identificar las variables con diferencias significativas. Posteriormente se realizó una prueba de Bonferroni para confirmar la significancia de las diferencias. De no encontrarse normalidad ni homocedasticidad entonces se ejecutaría una prueba de Kruskal-Wallis para cada variable.

Con todas las variables se hizo un perfil de Guillaumin, en el cual se puede comparar cómo se comporta cada variable para cada grupo (cuenca) y respecto a las otras variables dentro de un diseño factorial.

Para realizar el perfil de Guillaumin se obtuvo puntos para cada grupo (cuenca) dentro de una variable utilizando la fórmula:

$$\text{Guillaumin} = \frac{(\text{Media del grupo} - \text{Media de todos los grupos})}{\text{Desviación estándar total}}$$

Se unieron los puntos de todas las variables de cada grupo por una línea. En base a esto se escogieron las variables más informativas y no redundantes para realizar el análisis multivariado (éstas son las que entre los grupos, se representan en direcciones opuestas o se encuentren muy separadas unas de otras).

Se hizo un Análisis de Componentes Principales Multigrupo (ACPmg) o un Análisis de Componentes Comunes (ACc) dependiendo si existía homoceasticidad o no, dentro de las matrices de cada grupo. Esto permitió realizar la primera separación de los grupos. Un Análisis Discriminante permitió observar claramente si existía separación de los grupos y poder asignar a un grupo un individuo del cual no se tenga certeza de su origen (caparazones provenientes de algunos museos o entregadas por comunitarios).

Si existe una amplia distribución de edades en las tortugas capturadas es posible que el tamaño sea una variable que oscurezca las diferencias anatómicas de origen genético. Para evitar este problema se utilizó las dos metodologías de morfometría, tanto la tradicional como la geométrica. La morfometría geométrica al convertir a una sola escala los especímenes, anula la variable tamaño y las magnitudes de cada variable únicamente responden a la representación de la forma y su variación dentro de los especímenes. La morfometría tradicional sólo analiza las distancias de un punto a otro, pero se han desarrollado técnicas en base a las cuales se cree que se quita la variación por el tamaño y las medidas representan únicamente la variación de la forma del espécimen. En el presente trabajo se utilizó la siguiente metodología: se convirtió a logaritmos de base 10 todas las medidas, por espécimen se calculó la media de todas sus distancias y se restó a cada una de las medidas del individuo.

Obteniendo así una nueva matriz de datos la cual se cree se encuentra en un espacio de forma y no de tamaño (Melgar com. pers., Dujardin 2000). Con las nuevas variables se realiza un ACPmg o un ACc. Y de esta manera se pudo obtener las diferencias de los grupos en base a su forma y libres de la influencia del tamaño.

Los grupos contrastados son:

- Individuos pertenecientes a la cuenca del Río Azul
- Individuos pertenecientes a la cuenca del Río Usumacinta
- Individuos pertenecientes a la cuenca de la Río Mopán

Y cada uno de estos grupos se subdivide en machos, hembras, adultos, juveniles y crías.

8. RESULTADOS

Se logró obtener datos de 271 tortugas en estado silvestre, provenientes de nueve distintos lugares muestreados, 152 tortugas en estado cautiverio y cuatro caparazones de dos museos: Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Museo de Paleontología de Estanzuela (Tabla 2). De estos espécimenes se obtuvieron medidas e imágenes digitales, contándose al final con 427 tortugas, con 14 medidas de campo cada una y 741 fotografías.

Tabla 2: Número de espécimenes de cada localidad muestreada.

| Sitio de muestreo | Cuenca a la que pertenece | No. De Caparazones | | |
|-------------------------------|--|--------------------|-----|------------------|
| | | ♂ | ♀ | Sexo desconocido |
| Laguna el Perú | Cuenca del Río Usumancinta | 87 | 27 | |
| Río San Pedro | Cuenca del Río Usumancinta | 6 | 13 | |
| Laguna Sacnab (Yaxha) | Cuenca del Río Mopán | 22 | 15 | |
| Laguna Salpetén | Cuenca del Río Mopán | 11 | 30 | |
| Laguna Picú | Cuenca del Río Mopán | 0 | 0 | |
| Río Azul | Cuenca del Río Azul (Río Hondo en México) | 28 | 29 | 3 |
| Río Sarstún | Cuenca del Río Sarstún | 0 | 0 | |
| Bocas del Polochic | Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce | 0 | 0 | |
| Granja de tortugas de Tabasco | Cuenca del Río Usumancinta | 8 | 144 | |
| Museo de Estanzuela | Desconocido | | | 1 |
| MUSHNAT* | Desconocido | | | 3 |
| total | | 162 | 258 | 7 |
| | | 427tort. | | |

*Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Se tomó un total de 20 coordenadas (o puntos) de cada plastrón analizado, generándose un total de 40 variables para cada tortuga, en un espacio de dos dimensiones, en las coordenadas X y Y (Figura 5). A estas coordenadas se les aplicó dos distintas conversiones, dependiendo de la técnica de morfometría utilizada ya sea geométrica o tradicional.

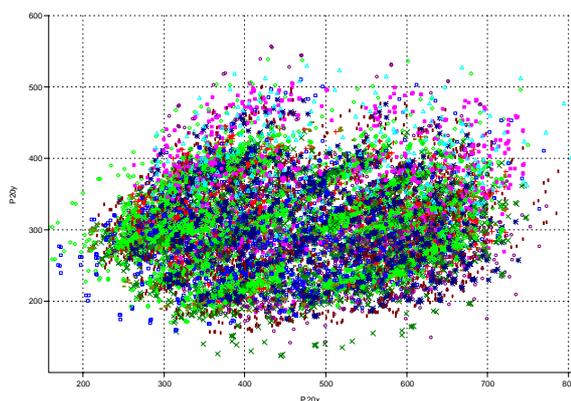


Figura 6: Sobreposición de las coordenadas X y Y de todos los plastrones, con la escala y disposición original, como se encuentran en la fotografía. Se puede observar que los puntos no coinciden entre especímenes, lo que nos muestra que una transformación es necesaria para poder realizar una comparación de las coordenadas.

rojo = hembras de Laguna El Perú; azul claro = hembras de Río Azul; rosado = hembras del Río San Pedro; verde oscuro = hembras de Laguna Salpetén; morado = hembras de Laguna Sacnab (Yaxha); verde claro = machos de Laguna El Perú; azul = machos de Río Azul; celeste = machos de Río San Pedro; verde oliva = machos de Laguna Salpetén; corinto = machos Laguna Sacnab (Yaxha)

Para la morfometría tradicional, se midieron todas las distancias posibles entre cada punto, obteniéndose un total de 191 medidas. En morfometría geométrica con la transformación de coordenadas originales a coordenadas de Bookstein se redujo el número de variables a 36, ya que dos puntos fueron establecidos como constantes en las coordenadas de (0,0) y (1,0), por lo cual no son incluidos en el análisis. Una vez realizada la transformación a coordenadas de Bookstein se puede observar en una gráfica de X, Y que las coordenadas pertenecientes a puntos homólogos coinciden en los distintos caparazones (Figura 6 y 7).

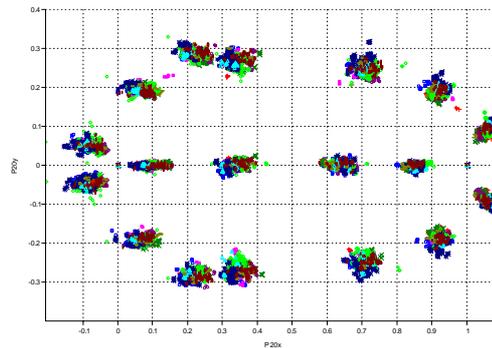


Figura 7: Sobreposición de las coordenadas X y Y de todos los plastrones después del arreglo de escala, orientación y posición utilizando las coordenadas de Bookstein. Ahora las coordenadas homologas coinciden en una nube donde la variación corresponde únicamente a las diferencias de forma. Rojo = hembras de Laguna El Perú; azul claro = hembras de Río Azul; rosado = hembras del Río San Pedro; verde oscuro = hembras de Laguna Salpetén; morado = hembras de Laguna Sacnab (Yaxha); verde claro = machos de Laguna El Perú; azul oscuro = machos de Río Azul; celeste = machos del Río San Pedro; verde oliva = machos de Laguna Salpetén; corinto = machos Laguna Sacnab (Yaxha)

Luego de la transformación de datos, se realizó de manera exploratoria un análisis de componentes principales -ACP- con todas las variables, separando por colores, los especímenes según lugar y sexo, para establecer si existe alguna tendencia de segregación ligada al sexo. En él se incluyen únicamente las tortugas provenientes de Guatemala, ya que en México la mayoría de datos corresponden a hembras, lo cual habría obscurecido el resultado (Figuras 8, 9 y 10). Nos permitimos incluir grupos pequeños ya que el ACP no contrasta agregaciones, solo compara individuos tomando a todos como parte de una misma población. De esta manera no se rompe la regla para el análisis de ordenación, siendo el número de variables por lo menos la mitad el número de individuos del grupo más pequeño.

En la gráfica de Análisis de Componentes Principales -ACP- utilizando las coordenadas de Bookstein (Figura 8) se puede observar como todos los grupos convergen en el centro, pero vemos como hacia el lado izquierdo sobresalen las circunferencias pertenecientes a la laguna de Salpetén y la Laguna de Yaxha, de ambos sexos. Luego se observa que del lado derecho sobresalen los círculos pertenecientes a machos y hembras de Río Azul, dejando de esta manera al centro a los especímenes de Laguna El Perú y Río San Pedro, lo cual se explica ya que la

Laguna El Perú realmente es una poza del Río San Juan, tributario del Río San Pedro, que sólo presenta corriente durante la temporada de lluvias.

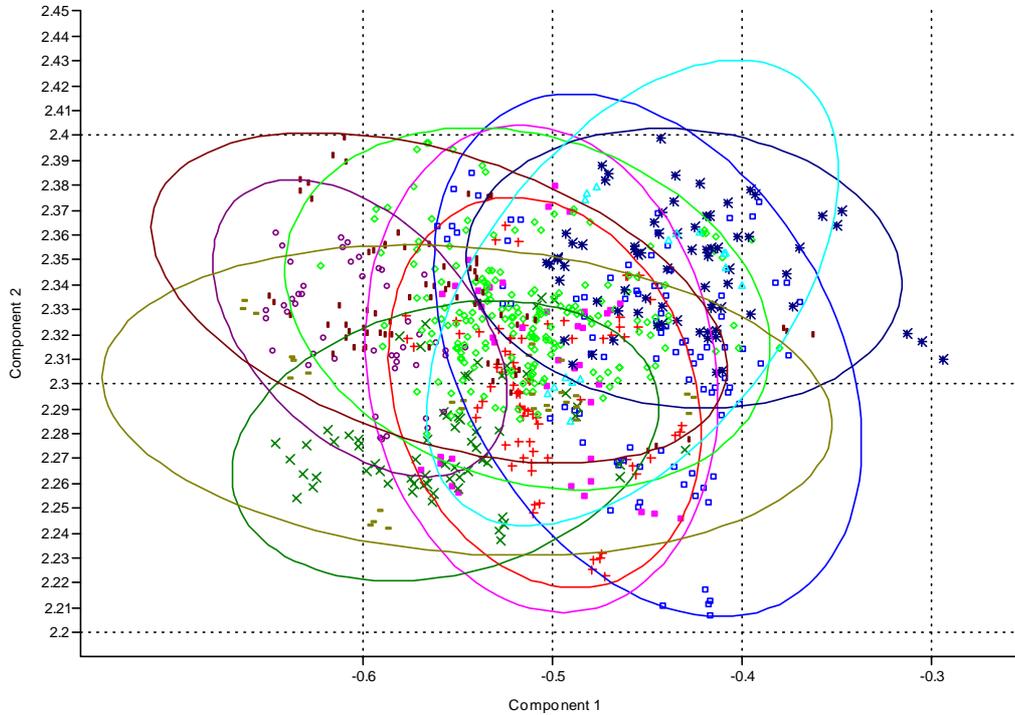


Figura 8: Análisis de Componentes Principales -ACP- utilizando las coordenadas de Bookstein, con elipses que incluyen el 95% de los puntos.
 Rojo = hembras de laguna El Perú; azul claro = hembras de Río Azul; rosado = hembras del Río San Pedro; verde oscuro = hembras de laguna Salpetén; morado = hembras de laguna Sacnab (Yaxha); verde claro = machos de laguna El Perú; azul oscuro = machos de Río Azul; celeste = machos del Río San Pedro; oliva = machos de laguna Salpetén; corinto = machos Laguna Sacnab (Yaxha)

En el Análisis de Componentes Principales -ACP- utilizando las distancias entre puntos (Figuras 9 y 10) se ve como se repite el patrón de separación que se observó con las coordenadas de Bookstein (Figura 8), lo que sugiere que la tendencia a constituir tres grupos definidos de agregación es similar inclusive al utilizarse dos técnicas de análisis morfométricos distintas.

En el análisis de las distancias entre puntos, la separación de los grupos es observable más claramente cuando utilizamos los Componentes Principales CP 2 y 3. Se elimina el CP 1 ya que se considera que es este el que presenta la mayor cantidad de información en un análisis de ordenación y cuando se están ordenando variables de distancias la principal variación será debido al tamaño, entonces al

anular el CP 1 se anula la mayor parte de la variabilidad por tamaño y queda únicamente la variabilidad producto de la forma (Dujardin 2000) (Figura 10).

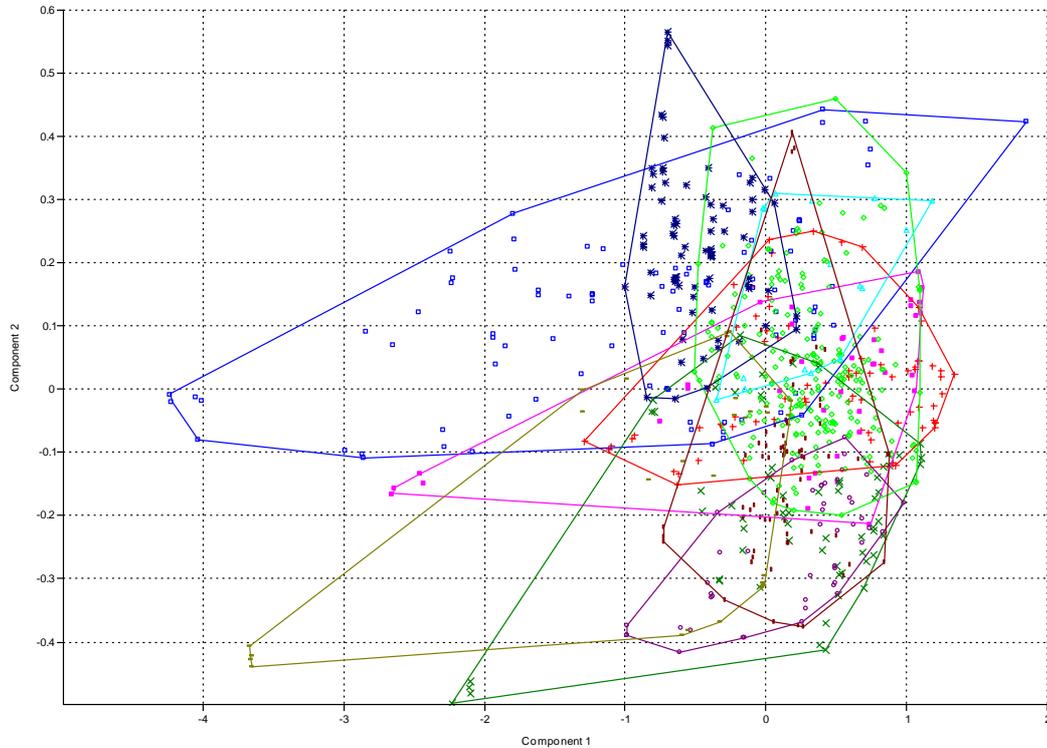


Figura 9: Análisis de Componentes Principales -ACP- utilizando todas las medidas tomadas entre las distancias, dentro de los 20 puntos marcados en las imágenes digitales. Se presenta la gráfica utilizando los Componentes Principales -CP- 1 y 2. Trazando una línea que une todos los puntos extremos de cada grupo.

Las distancias de cada individuo fueron transformadas a logaritmos base 10, y se les restó la media de todas sus distancias.

No se encontró ninguna tendencia a la segregación de sexos y como se había previsto en el inicio del estudio, al observar los patrones en las Figuras 8, 9 y 10 podemos inferir que cada agregación de puntos que muestra el análisis de los datos, corresponde a tres sitios geográficos distintos que coinciden con la separación de cuencas según la fisiografía del Norte de El Petén (Figura 2).

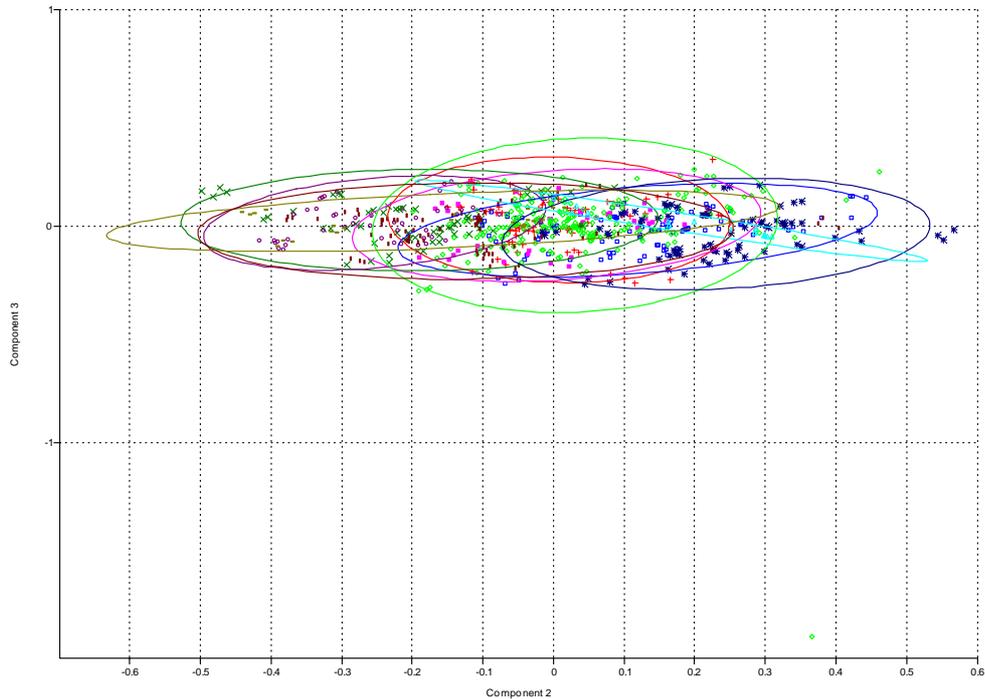


Figura 10: Análisis de Componentes Principales -ACP- utilizando todos los valores de las distancias dentro de los 20 puntos marcados en las imágenes digitales. Utilizando los Componentes Principales -CP- 2 y 3, se trazaron elipses que incluyeran el 95% de los individuos de cada grupo. Las distancias de cada individuo fueron transformadas a logaritmos base 10, y se les resto la media de todas sus distancias.

De esta manera se han definido tres grupos en el territorio guatemalteco, con los cuales se puede realizar el análisis más detallado al cual regresaremos posteriormente. De aquí en adelante nos referimos a cuatro grupos únicamente; El Perú (corresponde a las muestras tomadas en la cuenca del Río San Pedro), Yaxha (muestras tomadas en la cuenca del Río Mopán), Río Azul (muestras tomadas en la cuenca del Río Azul o Río Hondo) y México (el cual corresponde a las muestras tomadas de la granja del Gobierno de Tabasco, México).

Para saber si el tamaño de las tortugas influía en la forma de la disposición de las escamas en el plastrón de las tortugas se realizó un análisis de de componentes principales -ACP-, con las tortugas provenientes de la granja del gobierno de Tabasco, México, separándolas por tamaños. Para hacer la separación de tamaños se dividieron 4 grupos dependiendo del largo lineal del plastrón -LLP-, según los intervalos: 0-10, de 10.01-20, de 20.01-30 y de 30.01 a 40 cm. (Tabla 3).

Tabla 3: Distribución de tallas de las tortugas capturadas. En ocasiones el N total no concuerda con el N de todas las tortugas capturadas ya que no a todas se les tomo el LLP.

| Rangos de LLP en cm. | México | Perú | Río Azul | Yaxha |
|----------------------|--------|------|----------|-------|
| 0-10 | 33 | 1 | 0 | 1 |
| 10.01-20 | 41 | 2 | 2 | 1 |
| 20.01-30 | 63 | 33 | 39 | 38 |
| 30.01-40 | 14 | 96 | 19 | 37 |
| Total | 151 | 132 | 60 | 77 |

En este análisis se puede ver como existe una segregación de las tortugas de distintas tallas (Figura 11) las tortugas de menor talla presentan los menores valores en el Componente Principal 1 -CP1- y este se incrementa conforme aumenta la talla de las tortugas. El Componente Principal 2 -CP2- se comporta de similar manera, pero se estabiliza en las tortugas de tallas medias.

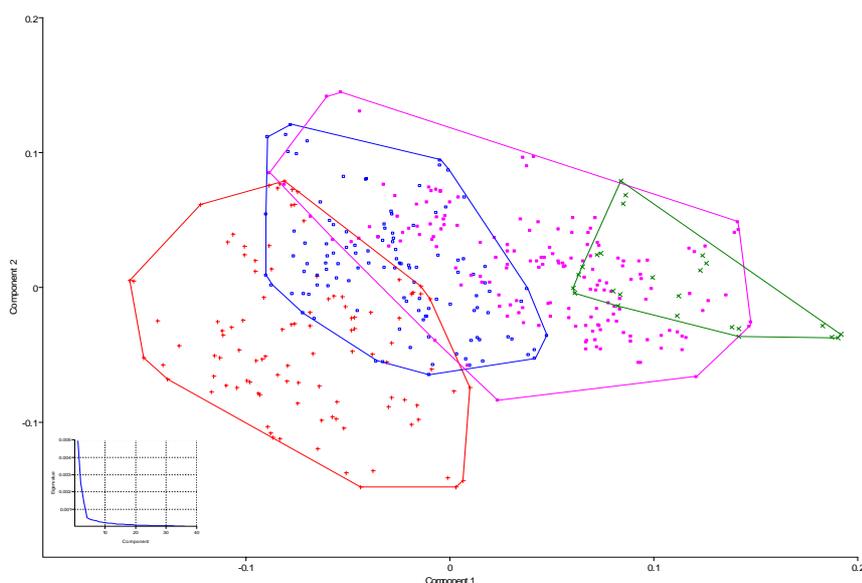


Figura 11: Análisis de Componentes Principales -ACP- de las coordenadas de Bookstein de tortugas blancas provenientes de la granja de cultivo del gobierno de Tabasco, México. Separadas por rangos de tamaños utilizando el largo lineal del plastrón -LLP- como medida indicadora de edad. rojo individuos con plastrón de: 0-10 cm., azul: 10.01-20 cm., rosado: 20.01-30 cm., verde: 30.01-40 cm.

La variación de la disposición de las escamas en el plastrón según la edad, se da en una dirección de manera que el plastrón se alarga en dirección cráneo-anal. La principal variación se da en los puntos colocados caudalmente lo que sugiere que esta parte crece a mayor velocidad y le da al plastrón una apariencia más alargada (Figura 12).

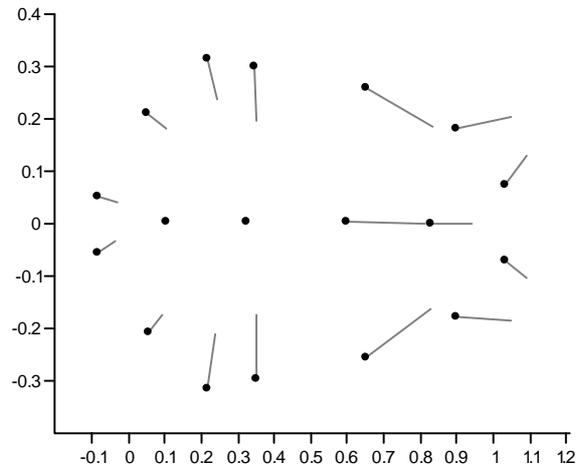


Figura 12: Variación de cada punto en el Componente Principal 1 del análisis de Componente Principales, indicando la variación de estos de acuerdo al desarrollo.

Utilizando las distancias entre puntos se obtuvo un similar resultado que el obtenido con las coordenada de Bookstein en el análisis de de componentes principales -ACP- con las tortugas provenientes de la granja del gobierno de Tabasco, México, separándolas por tamaños (Figura 13 y Anexo1).

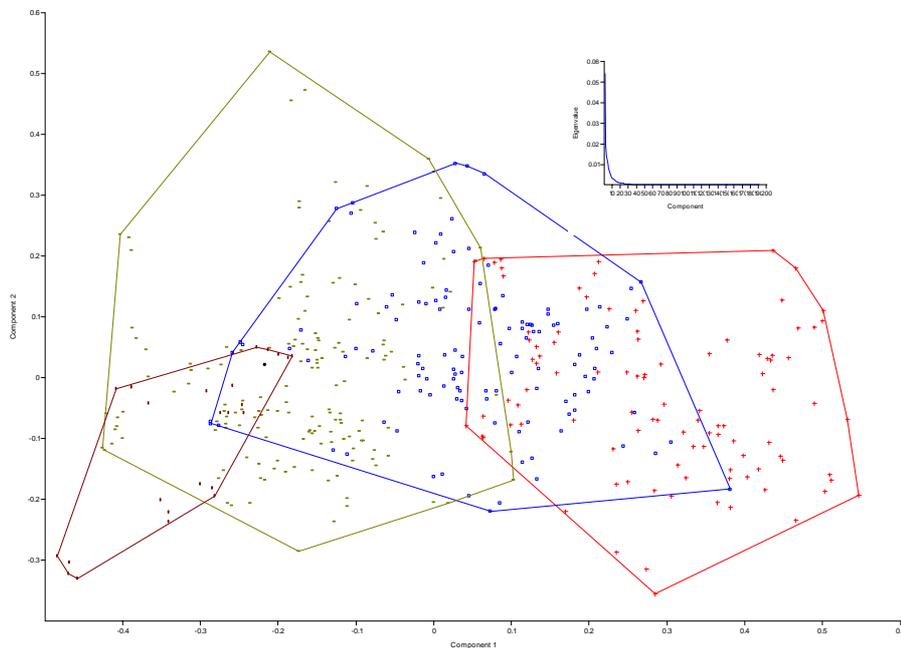


Figura 13: Análisis de Componentes Principales -ACP- de las distancias entre puntos de tortugas blancas provenientes de la granja de cultivo del gobierno de Tabasco, México. Separadas por rangos de tamaños utilizando el largo lineal del plastrón -LLP- como medida indicadora de edad. rojo individuos con plastrón de: 0-10 cm. azul: 10.01-20 cm. rosado: 20.01-30 cm. verde: 30.01-40 cm. Restando la primer variable isométrica.

Se realizó una regresión entre el indicador de tamaño, largo lineal del plastrón -LLP- y el peso de individuos provenientes de la granja de tortugas del estado de Tabasco, y se comparó con una regresión de tortugas provenientes de Laguna el Perú y Río San Pedro (Figura 14 y 15, Tablas 4 y 5, Anexo 2). En el área del Perú solo se tienen datos suficientes de tortugas que varían en su LLP de 27 a 37 cm. Pero dentro de este rango podemos ver que cuando una tortuga adulta aumenta su tamaño 4 cm. en cautiverio aumenta su peso en 1kg., mientras en estado silvestre solo requiere de un crecimiento de 2 cm. en el LLP para incrementar su peso 1kg.

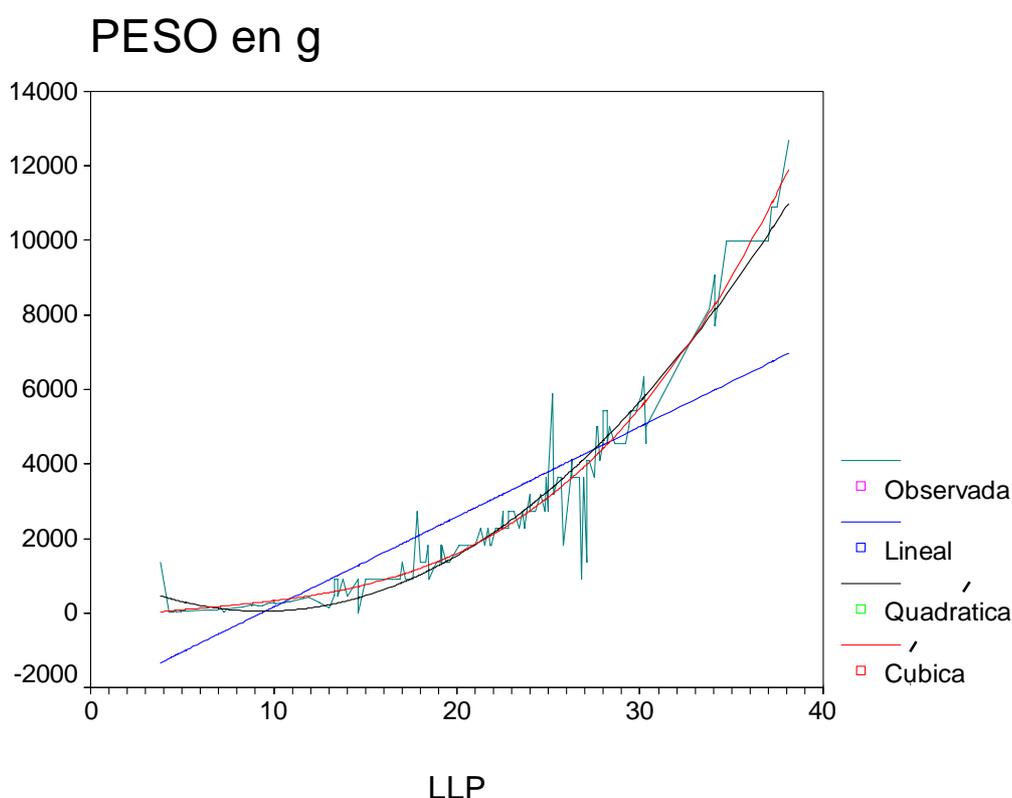


Figura 14: Curvas de regresión para tortugas de la granja del estado de Tabasco, México, contrastando peso y largo lineal del plastrón.

Tabla 4: Regresión para la curva de crecimiento de tortuga blanca en cautiverio, en la granja del estado de Tabasco, México. Regresión entre largo lineal del plastrón (como medida de tamaño y edad) y peso.

| Variable independiente: LLP | | | | |
|-----------------------------|----------------|--------------------|---------|---------------|
| Variable dependiente: PESO | | | | |
| Método | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
| Lineal | .754 | 149 | 455.83 | p<0.001 |
| Cuadrático | .943 | 148 | 1229.12 | p<0.001 |
| Cúbico | .952 | 147 | 972.40 | p<0.001 |

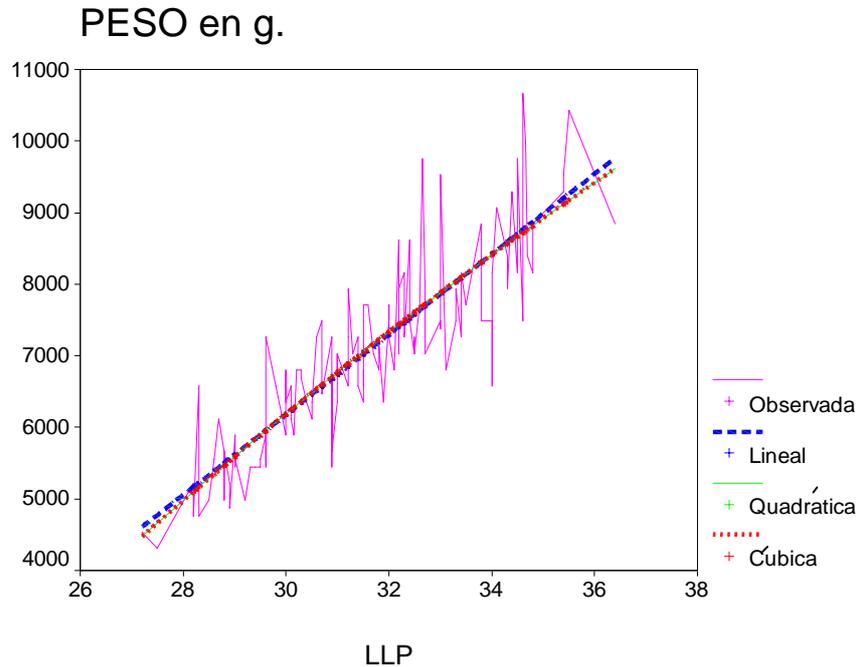


Figura 15: Curvas de regresión de crecimiento para tortugas provenientes de Laguna El Perú y Río San Pedro, utilizando tortugas con largo lineal del plastrón que oscilan entre 27 a 37 cm., contrastando peso y largo lineal del plastrón.

Tabla 5: Regresión entre largo lineal del plastrón y peso, para tortugas de laguna El Perú, anulando datos extremos <27 y >37 cm.

| Variable independiente: LLP | | | | |
|------------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|----------------------|
| Variable dependiente: Peso | | | | |
| Método | R² | Grados de libertad | F | significancia |
| Lineal | .746 | 121 | 355.69 | p<0.001 |
| Cuadrático | .747 | 120 | 177.16 | p<0.001 |
| Cúbico | .747 | 120 | 177.16 | p<0.001 |

Al comparar la relación media de peso y LLP de las tortugas incluidas en el rango de tallas >20 y <40 podemos observar que las poblaciones silvestres presentan similar relación, y 40% superior al peso de las tortugas en cautiverio (Tablas 6 y 7 y Figura 16). Si el LLP es una medida que cambia constante con el tiempo con igual magnitud en estado silvestre como en cautiverio estos datos nos sugiere que las tortugas en estado silvestre presentan mayor masa corporal por talla que las tortugas en cautiverio y que a pesar que la dieta en cautiverio ha permitido a la población de tortugas en la granja de tabasco tener éxito reproductivo, es necesaria una mejora en la calidad de esta para alcanzar la relación peso/tamaño que obtiene una tortuga

silvestre. Por este motivo es necesaria la investigación sobre la dieta de la tortuga blanca en estado silvestre.

Tabla 6: Estadística descriptiva de la relación del peso con el LLP en tortugas adultas, con tallas >20 y <40

| | N | Media | Intervalo de confianza | | Error estándar | Varianza |
|--------|-----|----------|------------------------|-----------------|----------------|----------|
| | | | Límite inferior | Límite superior | | |
| México | 77 | 146.9739 | 133.6487 | 160.299 | 6.6905 | 3446.68 |
| Perú | 129 | 219.7045 | 214.2898 | 225.1192 | 2.7365 | 966.01 |
| Yaxha | 74 | 218.4360 | 211.1260 | 225.7460 | 3.6678 | 995.53 |

Tabla 7: Kruskal-Wallis para relación del peso con el LLP en tortugas adultas con tallas >20 y <40

| Kruskal-Wallis | México-Perú | México-Yaxha | Perú-Yaxha |
|----------------|-------------|--------------|------------|
| 5.776E-20 | 3.658E-18 | 7.948E-14 | 2.671 |

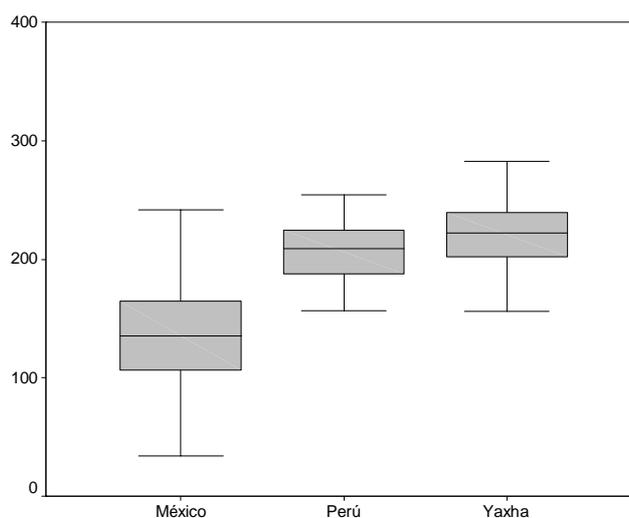


Figura 16: Cajas de Sesgo para la relación del peso con el LLP en tortugas adultas con tallas >20 y <40

Se realizó una regresión lineal entre nuestra medida indicadora de edad y tamaño (LLP) contra el resto de medidas obtenidas de las tortugas provenientes de la granja del gobierno de Tabasco, México (Tabla 8, Anexo 3). Estas regresiones mostraron que existe una relación muy fuerte entre el cambio de tamaño de una tortuga (LLP) y el resto de medidas, a excepción del largo de cabeza (medida que debe ser analizada con más detalle posteriormente).

La fuerte relación entre el cambio de las magnitudes del LLP y el resto de las medidas, nos indica que estas no pueden ser utilizadas para un análisis morfométrico, en el cual se quieran estudiar las diferencias de forma de distintas poblaciones de manera independiente al tamaño. De esta manera las medidas se transformaron a variables de proporción que pudieran tener alguna relación con la forma. La relación LCC/LLC (largo circular del caparazón y largo lineal de caparazón, respectivamente) es una medida que conforme se hace más pequeña, indica que el caparazón de la tortuga es más plano, y si se hace mas grande el caparazón será más cóncavo. La relación ACC/ALC (ancho circular de caparazón y ancho lineal de caparazón) tiene el mismo significado que el anterior, solo que este identifica la concavidad en el ancho. La relación ALC/LLC (ancho lineal de caparazón y largo lineal de caparazón) indica si una tortuga tiene una forma más alargada (valores bajos) o redonda (valores altos). La relación LCP/LLP (largo circular de plastrón y largo lineal de plastrón) mide la concavidad del plastrón, de igual manera que lo hace el ACP/ALC (ancho circular de plastrón y ancho lineal de caparazón), sólo que uno a lo largo y el otro a lo ancho respectivamente. La relación ALTO/LLC (alto de caparazón y largo lineal de caparazón) indica cuán compacta es una tortuga, un valor alto indicará que es una tortuga corta y un valor bajo indicará que es alargada. La relación entre AC/LC (ancho de cabeza y largo de cabeza) indica cuán angosta o ancha es la cabeza. El LPI-LPD (largo puente izquierdo y derecho, respectivamente) se toma como una medida de simetría, un valor muy alejado del 0 indicaría que existen problemas de asimetría.

Tabla 8: Regresión de las variables medidas en el campo contra LLP (como indicador de tamaño y edad), utilizando tortugas de México. Todas a excepción del LC presentan una fuerte relación directamente proporcional con el tamaño (Anexo 2).

| Variable independiente LLP | | | | |
|----------------------------|----------------|-----|---------|---------------|
| Variable dependiente | R ² | GL | F | Significancia |
| LC | 0.484 | 147 | 137.68 | p<0.001 |
| LLC | 0.924 | 147 | 1782.31 | p<0.001 |
| ALC | 0.900 | 147 | 1327.84 | p<0.001 |
| LCC | 0.914 | 147 | 1555.97 | p<0.001 |
| ACC | 0.909 | 147 | 1475.39 | p<0.001 |
| LCP | 0.871 | 147 | 993.01 | p<0.001 |
| ACP | 0.888 | 147 | 1168.05 | p<0.001 |
| AC | 0.889 | 147 | 1183.02 | p<0.001 |
| ALTO | 0.887 | 147 | 1148.94 | p<0.001 |
| LPI | 0.885 | 147 | 1128.72 | p<0.001 |
| LPD | 0.893 | 147 | 1222.23 | p<0.001 |

Al observar la variación de las proporciones en las tortugas de la granja del estado de Tabasco, indica que no existe mayor variación de estas proporciones dentro del rango de tamaño de tortugas analizada (Tabla 9). Al suponer que no existe una variación dependiente de la edad y las proporciones aquí analizadas, es posible comparar las distintas poblaciones sin hacer discriminación por tamaños.

Tabla No. 9: Estadística descriptiva de distintas proporciones del caparazón de las tortugas blancas de la granja del estado de Tabasco, México. Se puede observar que no existe mayor varianza en el grupo.

| | Media | Intervalo de confianza | | Error estándar | Varianza |
|-----------------|--------|------------------------|-----------------|----------------|----------|
| | | Límite inferior | Límite superior | | |
| LCC/LLC | 1.071 | 1.0554 | 1.0872 | 8.051E-3 | 9.788E-3 |
| ACC/ALC | 1.3145 | 1.2877 | 1.3412 | 1.353E-2 | 2.765E-2 |
| ALC/LLC | 0.7444 | 0.7294 | 0.7594 | 7.585E-3 | 8.688E-3 |
| LCP/LLP | 1.0282 | 0.9359 | 1.1206 | 4.673E-2 | 0.33 |
| ACP/ALC | 1.0826 | 1.0596 | 1.1056 | 1.165E-2 | 2.050E-2 |
| ALTO/LLC | 0.3848 | 0.3744 | 0.3951 | 5.243E-3 | 4.151E-3 |
| LLP/LLC | 0.8266 | 0.8098 | 0.8434 | 8.520E-3 | 1.096E-2 |
| AC/LC | 0.6034 | 0.5882 | 0.6187 | 7.736E-3 | 9.038E-3 |
| LPI-LPD | 0.1187 | 3.553E-2 | 0.2018 | 4.208E-2 | 0.267 |

N=151 tortugas distribuidas en cuatro rangos de tamaño basados en el LLP: (1) 0-10cm (N=33); (2) 10.01-20cm (N=41); (3) 20.01-30cm (N=63); (4) 30.01-40cm (N=14). LCC= largo circular del caparazón, LLC = largo lineal del caparazón, ACC= ancho lineal del caparazón, ALC= ancho lineal del caparazón, LCP= largo circular del plastrón, LLP= largo lineal del plastrón, ALTO= alto de caparazón, AC= ancho de la cabeza, LC= largo de la cabeza, LPI= largo del puente izquierdo, LPD= largo del puente derecho.

Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para cada variable de proporción que se obtuvo, contrastando los distintos sitios (El Perú, México, Río Azul y Yaxha) (Tabla 10). El resultado de estas pruebas muestra que las poblaciones más parecidas entre sí, son El Perú y Río Azul, pero esta aseveración se debilita cuando vemos que el Perú y México son los menos parecidos, siendo tan similares entre ellos como México y Yaxha. Esto nos plantea una relación con poca lógica biológica, ya que se esperaría que El Perú y México fuesen los más similares entre sí, al pertenecer a la misma macro cuenca del Río Usumacinta, independientemente de la similitud que tenga El Perú con cualquiera de las otras dos poblaciones.

En el anexo 4 se puede ver como en las cajas de sesgo, la mayoría de los individuos son muy similares en todos los sitios, presentándose puntos extremos principalmente en El Perú y México.

Tabla 10: Pruebas de Kruskal-Wallis para proporciones del caparazón y cabeza contrastando sitios.

| Variab | Kruskal- Wallis | Yaxha- Río Azul | Yaxha- Perú | Yaxha- México | Río Azul- Perú | Río Azul- México | Perú- México |
|-----------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| LCC/LLC | 0.0001209 | 2.236* | 0.5719* | 0.0006976 | 2.669* | 0.002559 | 0.07661* |
| ACC/ALC | 4.871E-26 | 0.000513 | 0.005615 | 2.121E-9 | 1.06* | 3.847E-14 | 1.492E-19 |
| ALC/LLC | 2.217e-17 | 0.005197 | 0.726* | 4.698E-8 | 1.767E-6 | 0.05597* | 1.028E-14 |
| LCP/LLP | 3.866E-9 | 0.01024 | 0.0202 | 0.4731* | 3.904* | 2.825E-6 | 4.325E-7 |
| ACP/ALC | 8.728E-5 | 8.35E-5 | 0.001789 | 0.03448 | 0.3144* | 0.1196* | 2.398* |
| ALTO/LLC | 0.000132 | 0.9197* | 0.001441 | 1.168* | 0.01584 | 5.685* | 0.003146 |
| LLP/LLC | 0.1237* | 0.1253* | 0.5046* | 0.4859* | 2.265* | 1.892* | 5.597* |
| AC/LC | 0.0001862 | 5.436* | 5.698* | 0.01237 | 4.134* | 0.02514 | 0.0005297 |
| Sum. de * | 1 | 4 | 4 | 3 | 6 | 4 | 3 |

* Situaciones en las cuales no se encontró diferencia significativa.

Se realizó una prueba de bondad de ajuste (Shapiro-Wilk) a la distribución normal de las coordenadas corregidas por la fórmula de Bookstein, donde se obtuvo que la mayoría de las variables para cada grupo, no presentan una distribución normal, mostrando diferencias significativas de las mismas (Tabla 11). Por ello se procedió a analizar los datos con la prueba de Kruskal-Wallis, al comparar las variables por sitios.

En el análisis de varianza de Kruskal-Wallis se encontró que existe diferencia significativa entre grupos para todas las variables (Tabla 12). Se realizó una comparación con la misma prueba a los grupos en forma pareada, con ello se determinó que en 10 ocasiones no se encontró diferencia significativa entre El Perú y México, siendo estas, las dos poblaciones más similares entre sí. Luego en 8 ocasiones no se encontró diferencia entre El Perú-Yaxha; en 6 ocasiones entre México y Yaxha; en 5 ocasiones entre: Río Azul-Perú y Río Azul-Yaxha; y en 4 ocasiones entre México y Río Azul. En este marco se apoya la similitud del Perú con Yaxha, al observar la similitud que presenta Yaxha y México, ya que México es parte de la misma macro cuenca que el Perú (Macro cuenca del Río Usumancinta)

Tabla 11: Pruebas de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk a la distribución normal para coordenadas de Bookstein en morfometría geométrica la mayoría de las variables no presentan una distribución normal.

| VARIABLES | El Perú | Yaxha | Río Azul | México |
|-----------|----------|----------------|-----------------|-----------------|
| | N : 355 | N : 213 | N : 173 | N: 419 |
| P1x | 1.90E-05 | 0.01319 | 0.2004* | 0.047 |
| P1y | 1.96E-14 | 0.00042 | 0.1059* | 0.04872 |
| P2x | 4.93E-08 | 0.1533* | 3.23E-06 | 0.217* |
| P2y | 2.82E-12 | 0.008249 | 0.0007984 | 7.56E-9 |
| P3x | 1.01E-11 | 0.003412 | 0.003748 | 3.37E-5 |
| P3y | 3.65E-03 | 0.05026 | 9.23E-05 | 0.05367* |
| P4x | 9.71E-05 | 0.008534 | 0.02497 | 2.547E-9 |
| P4y | 3.75E-02 | 0.08941 | 0.09126 | 0.008486 |
| P5x | 1.33E-04 | 0.03142 | 0.007162 | 2.121E-12 |
| P5y | 2.64E-07 | 0.1402* | 0.05775* | 0.0001962 |
| P6x | 3.03E-07 | 7.25E-11 | 0.01809 | 3.606E-20 |
| P6y | 9.23E-09 | 0.0003039 | 0.02276 | 0.8376* |
| P7x | 2.49E-14 | 2.15E-08 | 0.005507 | 2.616E-22 |
| P7y | 1.90E-09 | 0.0004112 | 0.005661 | 0.001036 |
| P8x | 3.44E-17 | 2.17E-08 | 0.0353 | 1.426E21 |
| P8y | 8.55E-23 | 0.005536 | 0.3519* | 0.3182* |
| P9x | 3.09E-19 | 6.59E-06 | 4.53E-06 | 9.642E-18 |
| P9y | 1.74E-29 | 4.88E-05 | 0.001303 | 1.928E-5 |
| P10x | 5.92E-16 | 2.77E-02 | 0.0001271 | 1.757E-11 |
| P10y | 6.96E-16 | 2.34E-01 | 0.00111 | 1.53E-8 |
| P11x | 4.43E-13 | 3.55E-01 | 0.1174* | 9.512E-9 |
| P11y | 4.52E-04 | 9.91E-02 | 0.2488* | 0.001544 |
| P12x | 6.10E-29 | 4.00E-04 | 0.09597 | 0.06921* |
| P12y | 2.98E-03 | 1.82E-02 | 0.01746 | 0.004275 |
| P13x | 2.75E-26 | 7.99E-02 | 7.40E-07 | 0.003119 |
| P13y | 1.86E-01 | 2.77E-01 | 2.39E-08 | 1.33E-9 |
| P14x | 8.57E-23 | 2.80E-03 | 0.01997 | 0.1625* |
| P14y | 4.85E-02 | 1.40E-02 | 0.2185* | 8.8E-7 |
| P16x | 3.04E-05 | 6.29E-03 | 1.88E-05 | 2.345E-7 |
| P16y | 4.04E-22 | 1.78E-01 | 5.02E-03 | 0.0001848 |
| P17x | 4.70E-05 | 5.28E-03 | 1.32E-01 | 9.666E-7 |
| P17y | 6.22E-09 | 7.10E-04 | 1.66E-01 | 1.815E-6 |
| P18x | 1.03E-07 | 1.76E-02 | 1.89E-02 | 9.388E-9 |
| P18y | 1.57E-02 | 2.34E-01 | 3.73E-03 | 0.000261 |
| P19x | 7.79E-17 | 4.39E-05 | 9.46E-03 | 2.042E-7 |
| P19y | 8.24E-05 | 7.22E-01 | 7.83E-04 | 5.211E-5 |

* Variables para las cuales no se encontró diferencia significativa con la distribución normal.

Tabla 12: Prueba de varianza de Kruskal-Wallis contrastando las tres cuencas y los cuatro sitios, por cada variable de las coordenadas de Boostein.

| Variabes | Kruskal-Wallis | Río Azul-México | Yaxha-México | El Perú-Mexico | Yaxha-Río Azul | El Perú-Río Azul | El Perú-Yaxha |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|----------------|
| P1x | 4.559E-76 | 2.9661E-43 | 9.8668E-15 | 8.634E-56 | 4.128E-20 | 1.981* | 5.367E-24 |
| P1y | 1.579E-27 | 2.174E-22 | 0.02928 | 7.848E-12 | 4.526E-16 | 7.132E-7 | 8.501E-5 |
| P2x | 1.791E-7 | 6.944E-7 | 0.3497* | 0.007412 | 0.0001918 | 0.001319 | 1.359* |
| P2y | 1.385E-26 | 5.172E-16 | 0.05083* | 0.6266* | 2.744E-22 | 1.201E-15 | 4.007E-6 |
| P3x | 1.975E-72 | 9.971E-24 | 1.659E-49 | 1.861E-49 | 1.254E-18 | 8.912E-8 | 1.468E-7 |
| P3y | 3.758E-30 | 0.0001297 | 3.809E-10 | 1.303E-8 | 8.706E-22 | 1.929E-21 | 0.5962* |
| P4x | 2.26E-55 | 8.838E-8 | 2.503E-25 | 0.354* | 4.657E-39 | 9.049E-6 | 5.736E-41 |
| P4y | 2.68E-64 | 4.155E-21 | 3.442E-24 | 1.544E-56 | 5.61* | 1.478E-11 | 3.986-14 |
| P5x | 1.436E-63 | 2.722E-8 | 3.217E-32 | 0.6377* | 3.11E-42 | 4.027E-15 | 4.54E-40 |
| P5y | 1.548E-70 | 5.348E-24 | 2.897E-43 | 1.421E-59 | 4.501E-7 | 3.45E-12 | 1.839* |
| P6x | 1.049E-75 | 0.3475* | 8.123E-48 | 1.164E-26 | 9.439E-42 | 1.104E-26 | 8.455E-18 |
| P6y | 1.05E-60 | 2.738E-16 | 2.176E-43 | 4.959E-38 | 1.396E-17 | 0.000298 | 4.351E-12 |
| P7x | 5.003E-62 | 1.934E-13 | 8.552E-31 | 7.672E-7 | 1.611E-40 | 1.327E-27 | 5.132E-20 |
| P7y | 1.959E-11 | 3.968* | 2.234E-9 | 1.198* | 4.862E-8 | 2.531* | 2.714E-8 |
| P8x | 8.405E-57 | 3.213E-12 | 2.426E-27 | 0.0001112 | 1.772E-38 | 4.737E-24 | 6.81E-21 |
| P8y | 1.907E-26 | 1.242E-19 | 3.707E-19 | 8.359E-6 | 0.0005328 | 1.199E-11 | 7.062E-5 |
| P9x | 9.464E-76 | 0.0087 | 1.442E-43 | 2.19E-26 | 1.371E-42 | 1.137E-31 | 2.491E-15 |
| P9y | 2.951E-68 | 2.914E-29 | 5.938E-44 | 1.156E-55 | 2.771E-7 | 0.02479 | 3.183E-7 |
| P10x | 7.673E-61 | 3.285E-15 | 2.247E-24 | 3.332* | 1.541E-41 | 6.739E-18 | 2.269E-35 |
| P10y | 4.29E-69 | 1.817E-28 | 1.029E-36 | 7.407E-62 | 0.7732* | 1.977E-8 | 2.989E-5 |
| P11x | 4.462E-68 | 2.584E-12 | 7.749E-29 | 0.0001512 | 2.5E-44 | 1.753E-5 | 6.379E-51 |
| P11y | 1.808E-71 | 0.2793* | 8.235E-10 | 1.41E-46 | 4.757E-6 | 5.938E-40 | 3.999E-29 |
| P12x | 6.093E-81 | 4.969E-26 | 2.415E-52 | 1.422E-56 | 2.781E-21 | 3.938E-11 | 6.183E-7 |
| P12y | 1.232E-27 | 1.038E-12 | 0.3005* | 0.005546 | 1.626E-7 | 8.541E-27 | 7.96E-8 |
| P13x | 1.867E-5 | 0.0002246 | 0.008625 | 0.2151* | 0.273* | 0.001296 | 0.5358* |
| P13y | 2.33E-18 | 1.149E-15 | 0.09959* | 1.004E-5 | 2.792E-8 | 1.838E-11 | 0.2225* |
| P14x | 5.229E-66 | 5.806E-36 | 2.483E-11 | 5.071E-49 | 8.85E-17 | 5.31* | 2.773E-23 |
| P14y | 3.357E-33 | 4.439E-23 | 3.565E-8 | 7.537E-26 | 4.307E-8 | 0.8731* | 8.69E-7 |
| P16x | 2.863E-34 | 1.921E-14 | 4.661E-7 | 3.01E-29 | 0.00104 | 0.007375 | 7.011E-13 |
| P16y | 1.569E-9 | 2.336E-7 | 2.118* | 0.2571* | 6.151E-8 | 9.603E-7 | 1.363* |
| P17x | 6.957E-20 | 1.162E-17 | 0.00126 | 8.441E-13 | 3.007E-6 | 0.0005548 | 0.0243* |
| P17y | 3.287E-7 | 0.000129 | 0.02541 | 4.83* | 0.4121* | 7.839E-6 | 0.002127 |
| P18x | 4.641E-89 | 5.942* | 2.917E-51 | 7.788E-39 | 9.587E-47 | 8.762E-35 | 2.705E-15 |
| P18y | 2.353E-22 | 5.793E-19 | 0.3525* | 0.07922* | 7.116E-15 | 1.27E-16 | 4.199* |
| P19x | 6.499E-68 | 2.151E-18 | 1.535E-24 | 0.2097* | 6.325E-47 | 4.497E-32 | 5.921E-28 |
| P19y | 4.675E-15 | 2.11E-10 | 8.875E-13 | 9.455E-7 | 1.761* | 0.08875* | 0.001007 |
| Sumatorias de * | | 4 | 6 | 10 | 5 | 5 | 8 |

*Variables en las cuales no se encontró diferencia significativa.

Con todas las variables de las coordenadas de Bookstein se hizo el perfil de Guillaumin, en el cual se puede ver como Yaxha varía en la mayoría de las veces, en dirección opuesta a Río Azul, mientras El Perú mantiene poca variación con respecto a los demás grupos, teniendo así un comportamiento. México y Yaxha son los grupos que más varían respecto a los demás grupos, aunque no lo hacen en la misma dirección (Figura 17).

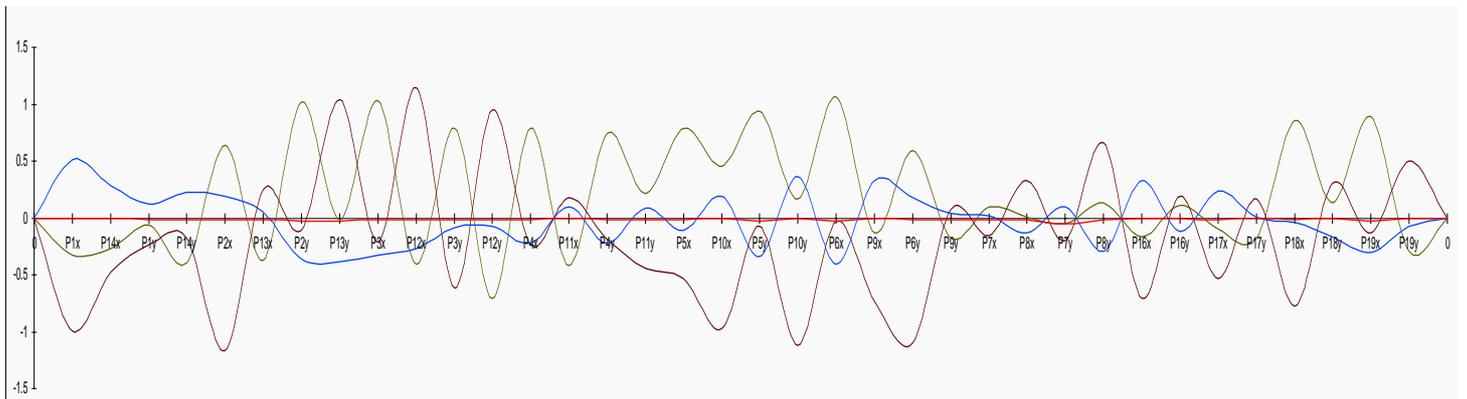


Figura 17: Perfil de Guillaumin, donde se puede observar como varía un grupo con respecto a la media de los grupos y uno respecto al otro. Se utiliza la Formula $G = \text{Media del grupo} - \text{Media total} / \text{Desviación total}$. rojo: El Perú, oliva: Yaxha, azul: Río Azul, y corinto: México.

Se hizo un Análisis de Componentes Principales -ACP- colocando distintos colores y formas a individuos provenientes de las distintas poblaciones definidas, y se pudo comprobar que los grupos mantienen las tendencias de segregación por sitios (Figura 18). También se hizo una gráfica en la cual se representan todos los puntos y la orientación de su variación en el Componente Principal -CP- 1 sobre la forma media de todos los individuos (Figura 19). Se puede ver como la principal variación se da en orientación de tal modo, que no se rompe la forma de elipse asimétrica del plastrón. Es que es evidente que la mayor variabilidad de toda la muestra está concentrada en la parte rostral del plastrón.

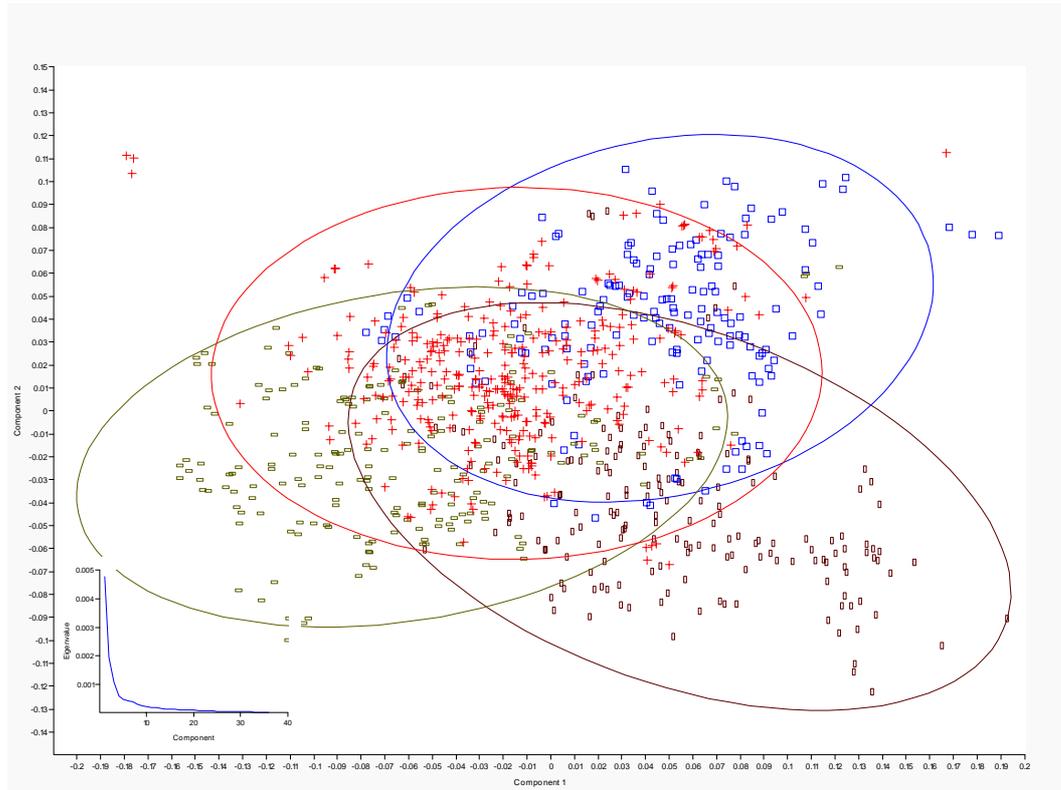


Figura 18: Análisis de Componentes Principales -ACP- usando las coordenadas de Bookstein. Sobrepuesta la gráfica contrastando el cambio de los eigenvalores contra Componentes Principales -CP-, se observa como la mayor parte de la variación (mayor eigenvalor) esta representada en los primeros Componentes Principales -CP-.
rojo: El Perú; oliva: Yaxha; azul: Río Azul y corinto: México.

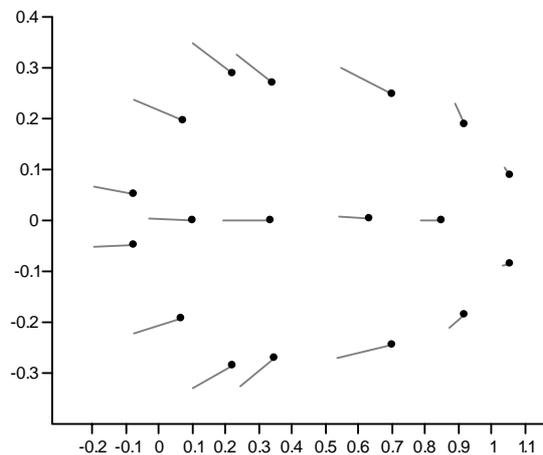


Figura 19: Variación de coordenadas en el CP1 del ACP a partir de la forma media, contrastando distintas cuenas, utilizando morfometría geométrica

Ahora con los componentes principales como variables, se realizó un Análisis Discriminante Canónico, el cual gráfica las dos principales separaciones entre grupos. En esta gráfica se observa como los grupos presentan claras tendencias a

la separación. México representa un grupo aislado siendo separado del resto de grupos por el CP1, pero presenta similitud con El Perú en el CP2. EL Perú queda en un punto de intersección donde convergen todos los grupos, y no es separado totalmente de Yaxha y Río Azul en el CP1, pero si lo es en el CP2 (Figura 20).

Se hizo una prueba de Varianza Multivariada en la cual se comparan las cuatro matrices de Componentes Principales provenientes del -ACP- y se encontró diferencias significativas entre los grupos. Posteriormente se realizó una prueba de Bonferroni para identificar donde se encontraba esta diferencia, pero se comprobó que en todas las combinaciones de grupos, existen diferencias significativas (Tabla 13).

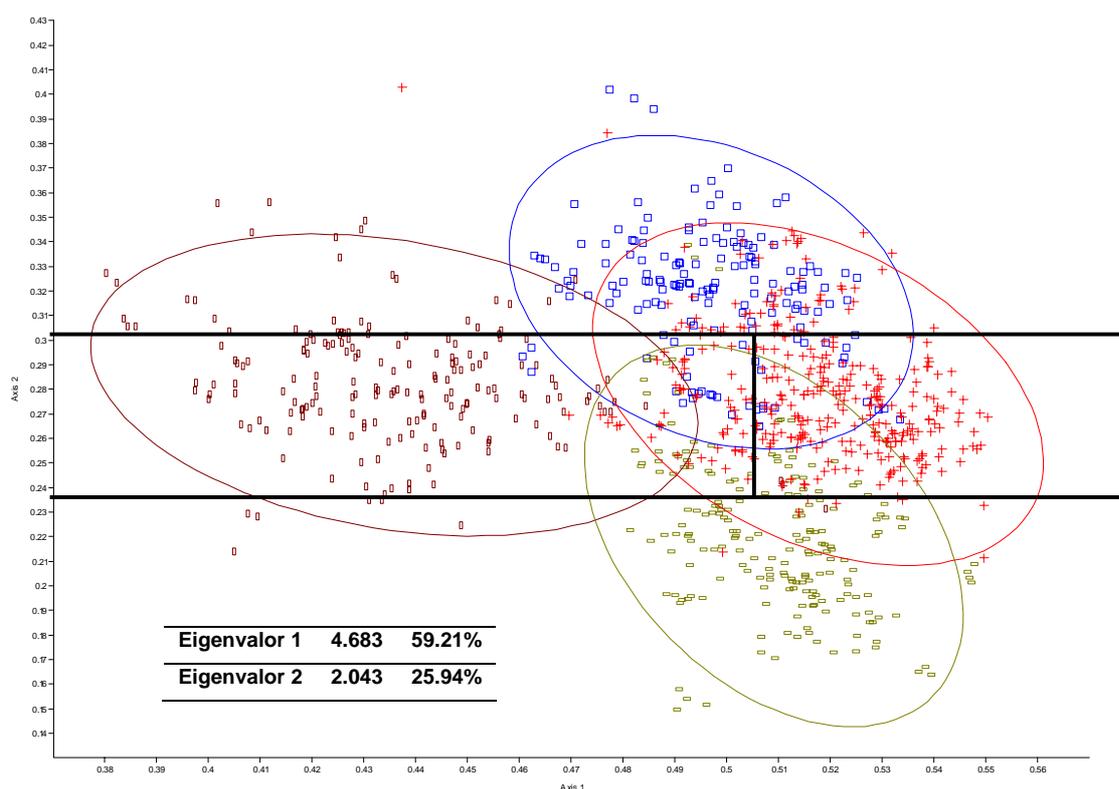


Figura 20: Analisis Discriminante Canónico -CVA-, con los eigenvalores producidos del ACP de las coordenadas de Bookstein.
rojo: El Perú; oliva: Yaxha; azul: Río Azul y corinto: México.

Tabla 13: Pruebas de Varianza Multivariada para los cuatro grupos de tortugas (El Perú, Yaxha, Río Azul y México) utilizando los Componentes Principales resultantes del -ACP- de las Coordenadas de Bookstein.

| | | F | P |
|----------------|-------|--------|---------|
| Wilk's lambda: | 0.026 | 56.021 | p<0.001 |
| Pillai trace: | 2.034 | 50.52 | p<0.001 |

Comparación pareada de Hotelling, Bonferroni corregido / sin corrección

| | México | Río Azul | Yaxha | Perú | |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|
| México | 0 | 4.71197E-131 | 6.46535E-160 | 6.02935E-202 | Río |
| Azul | 2.82718E-130 | 0 | 6.57043E-131 | 1.32638E-101 | |
| Yaxha | 3.87921E-159 | 3.94226E-130 | 0 | 1.85031E-140 | |
| Perú | 3.61761E-201 | 7.9583E-101 | 1.11018E-139 | 0 | |

Se estimaron las distancias entre puntos de todas las combinaciones posibles de pares de coordenadas. Se obtuvo el \log_{10} de estas distancias y se extrajo la media de todas las distancias por individuo (variable isométrica), para eliminar el efecto del tamaño en el análisis. Luego se realizó una regresión entre la variable isométrica y el LLP como medida indicadora de edad y tamaño. Se puede observar como la variable isométrica se encuentra altamente relacionada con el tamaño lo que supondría que al ser restada de todas las variable eliminaría la variación por tamaño (Tabla 14, Figura 21).

Tabla 14: Regresión entre la variable isométrica utilizada para eliminar el efecto del tamaño en el análisis (media de todas las distancias en \log_{10}) y el LLP como medida indicadora de edad y tamaño

| Variable independiente: LLP | | | | |
|----------------------------------|----------------|--------------------|---------|---------------|
| Variable dependiente: Isométrica | | | | |
| Método | R ² | Grados de libertad | F | Significancia |
| LIN | 0.916 | 407 | 4415.12 | p<0.001 |
| LOG | 0.989 | 407 | 37425.1 | p<0.001 |

Isometrica

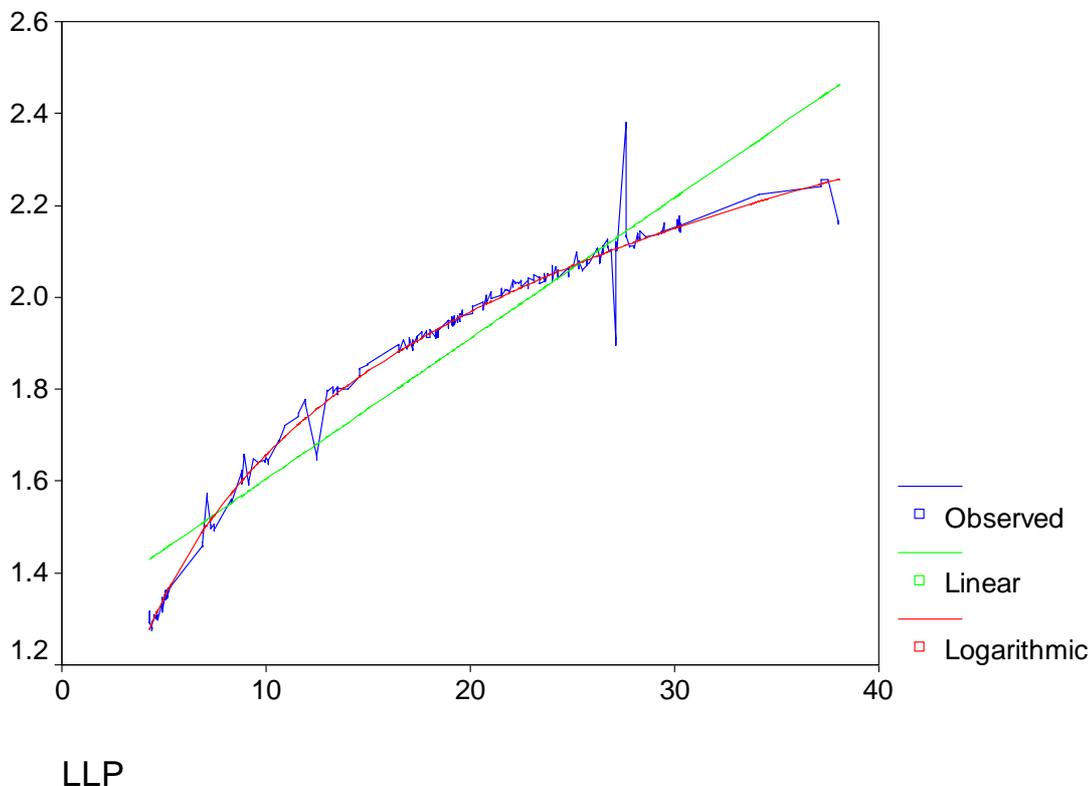


Figura 21: Curva de regresión entre la variable isométrica utilizada para eliminar el efecto del tamaño en el análisis (media de todas las distancias en \log_{10}) y el LLP como medida indicadora de edad y tamaño

Una regresión similar se realizó entre la segunda variable isométrica (Medias de todas las variables después de haber restado la variable isométrica 1) y el LLP. En esta ocasión la segunda variable isométrica es muy pobre para explicar la variación debido al tamaño, lo que supone que la mayoría de la variación debido al tamaño fue eliminada al restar la primera variable isométrica y se puede proceder a realizar el análisis de ordenación después de haber restado esta (Tabla 15 y Figura 22).

Tabla 15: Regresión entre la segunda variable isométrica (Medias de todas las variables después de haber restado la variable isométrica 1) y el LLP

| Variable independiente: LLP | | | | |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|------|---------------|
| Variable dependiente: Isométrica2 | | | | |
| Método | R ² | Grados de libertad | F | Significancia |
| LIN | 0.014 | 407 | 5.69 | P=0.018 |

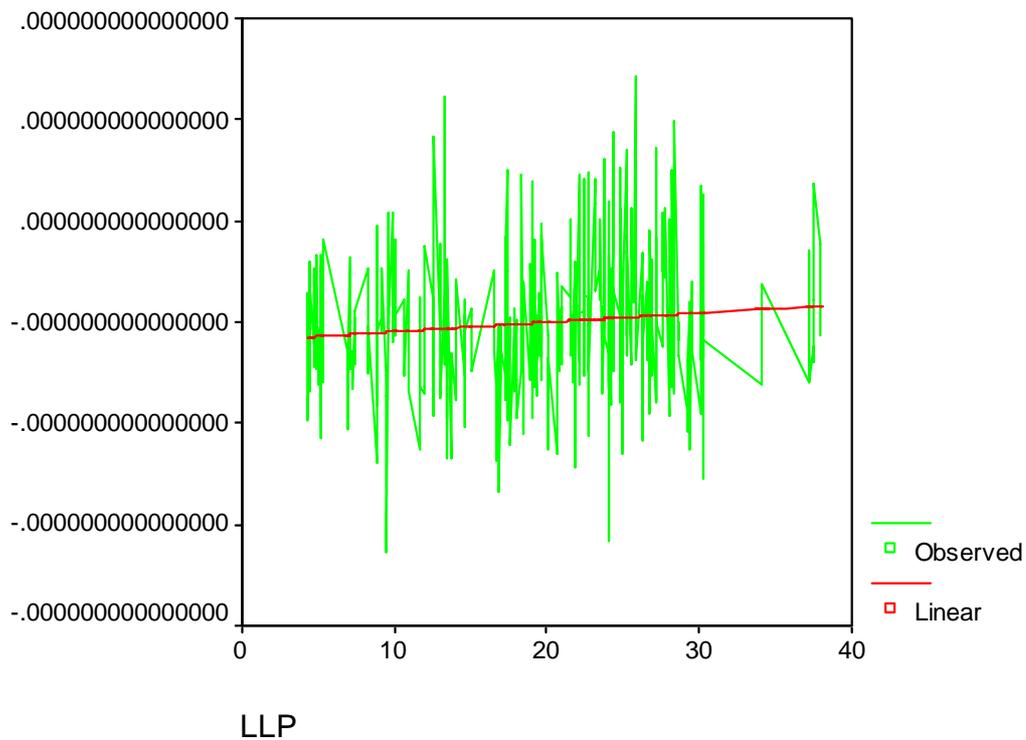


Figura 22: Curva de regresión entre la segunda variable isométrica (Medias de todas las variables después de haber restado la variable isométrica 1) y el LLP

Se realizó una regresión entre todas las variables obtenidas en morfometría tradicional (distancias entre puntos) después de haber sido transformadas a \log_{10} y restar la variable isométrica contra la variable isométrica. En estas regresiones se puede observar que en la mayoría de los casos aún se puede explicar algún porcentaje de la variación de cada variable según el tamaño, en este caso representado por la variable isométrica. Pero sólo en 11 casos este porcentaje superó el 60 por ciento (Tabla 16).

Tabla 16: Regresión entre todas las variables obtenidas en morfometría tradicional (distancias entre puntos) después de haber sido transformadas a \log_{10} y restar la variable isométrica

| Variable Independiente: Isométrica | | | | |
|------------------------------------|----------------|--------------------|---------|-----------------|
| Variable Dependiente | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
| 1-2 | 0.303 | 414 | 180.19 | p<0.001 |
| 1-3 | 0.403 | 414 | 280.02 | p<0.001 |
| 1-4 | 0.012 | 414 | 4.92 | P=0.027 |
| 1-5 | 0.040 | 414 | 17.17 | p<0.001 |
| 1-6 | 0.052 | 414 | 22.61 | p<0.001 |
| 1-7 | 0.040 | 414 | 17.13 | p<0.001 |
| 1-8 | 0.088 | 414 | 39.75 | p<0.001 |
| 1-9 | 0.322 | 414 | 196.60 | p<0.001 |
| 1-10 | 0.271 | 414 | 153.78 | p<0.001 |
| 1-11 | 0.188 | 414 | 95.64 | p<0.001 |
| 1-12 | 0.152 | 414 | 74.40 | p<0.001 |
| 1-13 | 0.348 | 414 | 220.56 | p<0.001 |
| 1-14 | 0.519 | 414 | 446.74 | p<0.001 |
| 1-15 | 0.650+ | 414 | 769.44 | p<0.001 |
| 1-16 | 0.001 | 414 | .42 | P=0.516* |
| 1-17 | 0.196 | 414 | 100.88 | p<0.001 |
| 1-18 | 0.349 | 414 | 221.90 | p<0.001 |
| 1-19 | 0.231 | 414 | 124.48 | p<0.001 |
| 1-20 | 0.062 | 414 | 27.31 | p<0.001 |
| 2-3 | 0.067 | 414 | 29.53 | p<0.001 |
| 2-4 | 0.370 | 414 | 243.52 | p<0.001 |
| 2-5 | 0.486 | 414 | 392.00 | p<0.001 |
| 2-6 | 0.540 | 414 | 485.64 | p<0.001 |
| 2-7 | 0.531 | 414 | 467.90 | p<0.001 |
| 2-8 | 0.545 | 414 | 495.89 | p<0.001 |
| 2-9 | 0.723+ | 414 | 1079.06 | p<0.001 |
| 2-10 | 0.622+ | 414 | 682.66 | p<0.001 |
| 2-11 | 0.498 | 414 | 411.09 | p<0.001 |
| 2-12 | 0.002 | 414 | .79 | P=0.376* |
| 2-13 | 0.463 | 414 | 356.98 | p<0.001 |
| 2-14 | 0.222 | 414 | 117.99 | p<0.001 |
| 2-15 | 0.039 | 414 | 16.71 | p<0.001 |
| 2-16 | 0.546 | 414 | 497.63 | p<0.001 |
| 2-17 | 0.042 | 414 | 18.20 | p<0.001 |
| 2-18 | 0.700+ | 414 | 966.87 | p<0.001 |
| 2-19 | 0.615+ | 414 | 659.95 | p<0.001 |
| 2-20 | 0.435 | 414 | 319.12 | p<0.001 |
| 3-4 | 0.406 | 414 | 283.47 | p<0.001 |
| 3-5 | 0.479 | 414 | 380.26 | p<0.001 |
| 3-6 | 0.382 | 414 | 255.57 | p<0.001 |
| 3-7 | 0.219 | 414 | 115.90 | p<0.001 |
| 3-8 | 0.153 | 414 | 74.61 | p<0.001 |
| 3-9 | 0.197 | 414 | 101.71 | p<0.001 |
| 3-10 | 0.062 | 414 | 27.59 | p<0.001 |
| 3-11 | 0.225 | 414 | 119.86 | p<0.001 |
| 3-12 | 0.457 | 414 | 349.03 | p<0.001 |
| 3-13 | 0.004 | 414 | 1.55 | P=0.213* |
| 3-14 | 0.169 | 414 | 84.21 | p<0.001 |
| 3-15 | 0.489 | 414 | 395.66 | p<0.001 |
| 3-16 | 0.287 | 414 | 166.35 | p<0.001 |

| Dependiente | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
|-------------|----------------|--------------------|--------|-----------------|
| 3-17 | 0.258 | 414 | 143.99 | p<0.001 |
| 3-18 | 0.383 | 414 | 256.57 | p<0.001 |
| 3-19 | 0.350 | 414 | 222.52 | p<0.001 |
| 3-12 | 0.160 | 414 | 78.94 | p<0.001 |
| 4-5 | 0.002 | 414 | .88 | P=0.349* |
| 4-6 | 0.235 | 414 | 126.85 | p<0.001 |
| 4-7 | 0.342 | 414 | 215.46 | p<0.001 |
| 4-8 | 0.538 | 414 | 482.78 | p<0.001 |
| 4-9 | 0.442 | 414 | 327.88 | p<0.001 |
| 4-10 | 0.629+ | 414 | 701.07 | p<0.001 |
| 4-11 | 0.560 | 414 | 526.13 | p<0.001 |
| 4-12 | 0.262 | 414 | 147.11 | p<0.001 |
| 4-13 | 0.432 | 414 | 314.69 | p<0.001 |
| 4-14 | 0.100 | 414 | 45.99 | p<0.001 |
| 4-15 | 0.025 | 414 | 10.67 | P=0.001 |
| 4-16 | 0.074 | 414 | 33.29 | p<0.001 |
| 4-17 | 0.065 | 414 | 28.66 | p<0.001 |
| 4-18 | 0.404 | 414 | 280.43 | p<0.001 |
| 4-19 | 0.214 | 414 | 112.72 | p<0.001 |
| 4-20 | 0.330 | 414 | 203.90 | p<0.001 |
| 5-6 | 0.287 | 414 | 167.05 | p<0.001 |
| 5-7 | 0.341 | 414 | 214.65 | p<0.001 |
| 5-8 | 0.581 | 414 | 574.89 | p<0.001 |
| 5-9 | 0.446 | 414 | 332.98 | p<0.001 |
| 5-10 | 0.653+ | 414 | 779.98 | p<0.001 |
| 5-11 | 0.616+ | 414 | 662.81 | p<0.001 |
| 5-12 | 0.100 | 414 | 45.97 | p<0.001 |
| 5-13 | 0.618+ | 414 | 669.78 | p<0.001 |
| 5-14 | 0.227 | 414 | 121.72 | p<0.001 |
| 5-15 | 0.012 | 414 | 4.95 | P=0.027 |
| 5-16 | 0.195 | 414 | 100.54 | p<0.001 |
| 5-17 | 0.277 | 414 | 158.25 | p<0.001 |
| 5-18 | 0.416 | 414 | 295.51 | p<0.001 |
| 5-19 | 0.290 | 414 | 169.26 | p<0.001 |
| 5-20 | 0.371 | 414 | 244.27 | p<0.001 |
| 6-7 | 0.024 | 414 | 10.04 | p=0.002 |
| 6-8 | 0.157 | 414 | 77.17 | p<0.001 |
| 6-9 | 0.085 | 414 | 38.37 | p<0.001 |
| 6-10 | 0.560 | 414 | 526.60 | p<0.001 |
| 6-11 | 0.516 | 414 | 442.01 | p<0.001 |
| 6-12 | 0.034 | 414 | 14.47 | p<0.001 |
| 6-13 | 0.665+ | 414 | 821.89 | p<0.001 |
| 6-14 | 0.184 | 414 | 93.21 | p<0.001 |
| 6-15 | 0.027 | 414 | 11.61 | P=0.001 |
| 6-16 | 0.214 | 414 | 112.84 | p<0.001 |
| 6-17 | 0.364 | 414 | 237.24 | p<0.001 |
| 6-18 | 0.276 | 414 | 157.88 | p<0.001 |
| 6-19 | 0.108 | 414 | 49.94 | p<0.001 |
| 6-20 | 0.062 | 414 | 27.42 | p<0.001 |
| 7-8 | 0.108 | 414 | 50.13 | p<0.001 |
| 7-9 | 0.173 | 414 | 86.44 | p<0.001 |
| 7-10 | 0.571 | 414 | 552.10 | p<0.001 |
| 7-11 | 0.536 | 414 | 478.45 | p<0.001 |

| Dependiente | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
|-------------|----------------|--------------------|--------|-----------------|
| 7-12 | 0.075 | 414 | 33.50 | p<0.001 |
| 7-13 | 0.520 | 414 | 449.31 | p<0.001 |
| 7-14 | 0.057 | 414 | 24.87 | p<0.001 |
| 7-15 | 0.109 | 414 | 50.53 | p<0.001 |
| 7-16 | 0.096 | 414 | 44.16 | p<0.001 |
| 7-17 | 0.249 | 414 | 137.26 | p<0.001 |
| 7-18 | 0.302 | 414 | 179.30 | p<0.001 |
| 7-19 | 0.224 | 414 | 119.45 | p<0.001 |
| 7-20 | 0.033 | 414 | 14.31 | p<0.001 |
| 8-9 | 0.022 | 414 | 9.48 | P=0.002 |
| 8-10 | 0.335 | 414 | 208.89 | p<0.001 |
| 8-11 | 0.321 | 414 | 195.45 | p<0.001 |
| 8-12 | 0.185 | 414 | 93.79 | p<0.001 |
| 8-13 | 0.513 | 414 | 436.38 | p<0.001 |
| 8-14 | 0.070 | 414 | 31.16 | p<0.001 |
| 8-15 | 0.069 | 414 | 30.90 | p<0.001 |
| 8-16 | 0.107 | 414 | 49.86 | p<0.001 |
| 8-17 | 0.259 | 414 | 144.64 | p<0.001 |
| 8-18 | 0.288 | 414 | 167.40 | p<0.001 |
| 8-19 | 0.218 | 414 | 115.56 | p<0.001 |
| 8-20 | 0.044 | 414 | 19.17 | p<0.001 |
| 9-10 | 0.252 | 414 | 139.62 | p<0.001 |
| 9-11 | 0.158 | 414 | 77.46 | p<0.001 |
| 9-12 | 0.413 | 414 | 291.81 | p<0.001 |
| 9-13 | 0.550 | 414 | 506.91 | p<0.001 |
| 9-14 | 0.142 | 414 | 68.57 | p<0.001 |
| 9-15 | 0.000 | 414 | .07 | p=0.798* |
| 9-16 | 0.259 | 414 | 144.45 | p<0.001 |
| 9-17 | 0.426 | 414 | 307.79 | p<0.001 |
| 9-18 | 0.239 | 414 | 130.33 | p<0.001 |
| 9-19 | 0.091 | 414 | 41.62 | p<0.001 |
| 9-20 | 0.122 | 414 | 57.72 | p<0.001 |
| 10-11 | 0.000 | 414 | .01 | p=.920* |
| 10-12 | 0.455 | 414 | 346.30 | p<0.001 |
| 10-13 | 0.468 | 414 | 363.50 | p<0.001 |
| 10-14 | 0.060 | 414 | 26.29 | p<0.001 |
| 10-15 | 0.027 | 414 | 11.45 | p=0.001 |
| 10-16 | 0.105 | 414 | 48.39 | p<0.001 |
| 10-17 | 0.195 | 414 | 100.12 | p<0.001 |
| 10-18 | 0.531 | 414 | 468.23 | p<0.001 |
| 10-19 | 0.454 | 414 | 343.56 | p<0.001 |
| 10-20 | 0.504 | 414 | 420.38 | p<0.001 |
| 11-12 | 0.399 | 414 | 274.47 | p<0.001 |
| 11-13 | 0.356 | 414 | 228.53 | p<0.001 |
| 11-14 | 0.026 | 414 | 11.11 | P=0.001 |
| 11-15 | 0.056 | 414 | 24.68 | p<0.001 |
| 11-16 | 0.026 | 414 | 10.96 | p=0.001 |
| 11-17 | 0.028 | 414 | 11.71 | p=0.001 |
| 11-18 | 0.474 | 414 | 373.14 | p<0.001 |
| 11-19 | 0.293 | 414 | 171.77 | p<0.001 |
| 11-20 | 0.388 | 414 | 262.89 | p<0.001 |
| 12-13 | 0.083 | 414 | 37.46 | p<0.001 |
| 12-14 | 0.373 | 414 | 246.08 | p<0.001 |

| Dependiente | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
|-------------|----------------|--------------------|--------|-----------------|
| 12-15 | 0.511 | 414 | 432.48 | p<0.001 |
| 12-16 | 0.512 | 414 | 435.23 | p<0.001 |
| 12-17 | 0.378 | 414 | 251.20 | p<0.001 |
| 12-18 | 0.239 | 414 | 129.80 | p<0.001 |
| 12-19 | 0.274 | 414 | 156.45 | p<0.001 |
| 12-20 | 0.105 | 414 | 48.45 | p<0.001 |
| 13-14 | 0.156 | 414 | 76.40 | p<0.001 |
| 13-15 | 0.026 | 414 | 10.99 | p=0.001 |
| 13-16 | 0.441 | 414 | 326.94 | p<0.001 |
| 13-17 | 0.024 | 414 | 10.23 | p=0.001 |
| 13-18 | 0.688+ | 414 | 912.76 | p<0.001 |
| 13-19 | 0.602+ | 414 | 627.04 | p<0.001 |
| 13-20 | 0.412 | 414 | 290.41 | p<0.001 |
| 14-15 | 0.427 | 414 | 309.14 | p<0.001 |
| 14-16 | 0.007 | 414 | 2.85 | p=0.092* |
| 14-17 | 0.198 | 414 | 102.41 | p<0.001 |
| 14-18 | 0.346 | 414 | 219.12 | p<0.001 |
| 14-19 | 0.219 | 414 | 116.11 | p<0.001 |
| 14-20 | 0.062 | 414 | 27.28 | p<0.001 |
| 15-16 | 0.252 | 414 | 139.55 | p<0.001 |
| 15-17 | 0.402 | 414 | 278.61 | p<0.001 |
| 15-18 | 0.097 | 414 | 44.64 | p<0.001 |
| 15-19 | 0.045 | 414 | 19.71 | p<0.001 |
| 15-20 | 0.014 | 414 | 6.02 | p=0.015 |
| 16-17 | 0.177 | 414 | 88.76 | p<0.001 |
| 16-18 | 0.417 | 414 | 296.73 | p<0.001 |
| 16-19 | 0.324 | 414 | 198.67 | p<0.001 |
| 16-20 | 0.110 | 414 | 51.05 | p<0.001 |
| 17-18 | 0.493 | 414 | 402.07 | p<0.001 |
| 17-19 | 0.393 | 414 | 267.91 | p<0.001 |
| 17-20 | 0.230 | 414 | 123.97 | p<0.001 |
| 18-19 | 0.007 | 414 | 2.76 | p=0.097* |
| 18-20 | 0.161 | 414 | 79.61 | p<0.001 |
| 19-20 | 0.139 | 414 | 67.08 | p<0.001 |
| Total | +11 | | | *8 |

+variables que presentan una relación con la variable isométrica mayor del 60%. *variables que pueden presentar una relación con la variable isométrica producto del azar.

Con las variables transformadas (después de haber restado la variable isométrica) se realizó un Análisis de Componentes Principales, donde se repiten los patrones encontrados con el mismo análisis utilizando las coordenadas de Bookstein (Figuras 18 y 23). En esta gráfica se observan los grupos más unidos, reflejando de una manera más clara lo que se había inferido anteriormente con las pruebas de Kruskal-Wallis para coordenadas de Bookstein, donde El Perú era un grupo muy parecido a México, seguido por una similitud entre el Perú y Yaxha, luego entre México - Yaxha y finalmente Río Azul, siendo el menos parecido al resto (Figura 23).

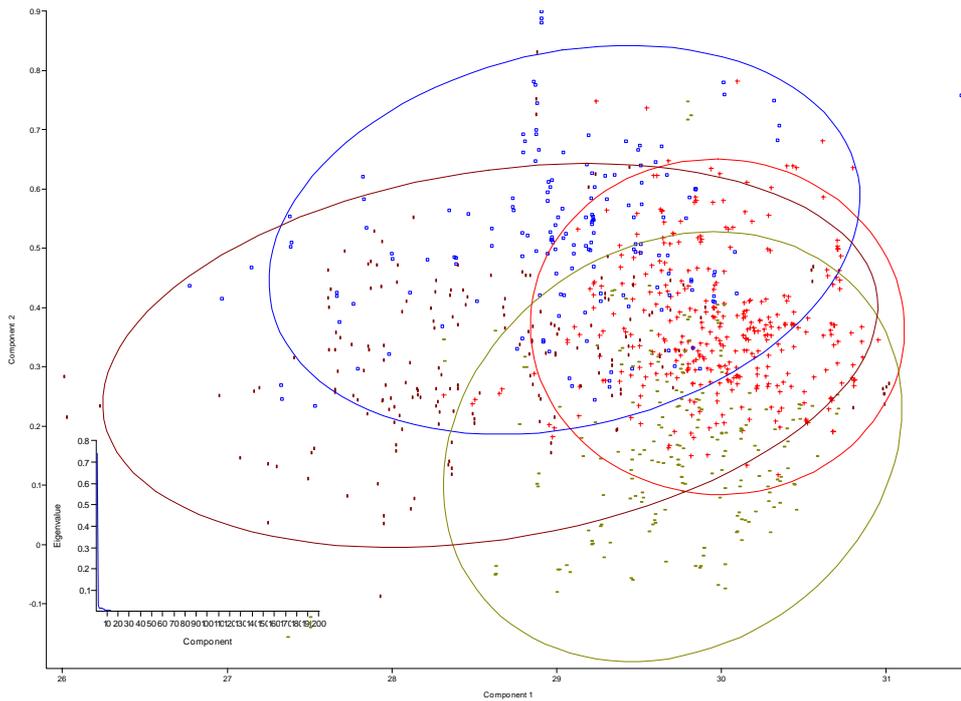


Figura 23: Análisis de Componentes Principales -ACP-, utilizando las distancias entre puntos, transformadas a logaritmos de base 10 y restando las medias de las distancias a cada espécimen. Se grafican los Componentes Principales -CP- 1 y 2

Para confirmar el efecto que el tamaño pueda continuar teniendo sobre la variación de la forma de las tortugas se realizó una regresión lineal a los 4 primeros componentes principales resultantes del análisis de componentes principales -ACP- y el análisis discriminante canónico -CVA-, de las coordenadas de Bookstein y el análisis de componentes principales -ACP- de las distancias entre puntos. En el CP1 del ACP de las coordenadas de Bookstein no se encontró una gran relación con el LLP, pero al realizar la regresión con los CP del CVA se encontró una mayor relación (tabla 17 y 18).

Tabla 17: Regresión lineal entre el LLP y los 4 primeros CP del ACP de coordenadas de Bookstein.

| Variable Dependiente | Independiente: LLP | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------|---------------|
| | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
| CP1 | 0.156 | 896 | 165.66 | p<0.001 |
| CP2 | 0.175 | 896 | 190.17 | p<0.001 |
| CP3 | 0.156 | 896 | 165.85 | p<0.001 |
| CP4 | 0.000 | 896 | 1.8E-04 | p=0.989 |

Tabla 18: Regresión lineal entre el LLP y los 4 primeros CP del CVA de coordenadas de Bookstein.

| Variable | Independiente: LLP | | | |
|-------------|--------------------|--------------------|--------|---------------|
| Dependiente | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
| E1 | 0.406 | 896 | 611.78 | p<0.001 |
| E2 | 0.003 | 896 | 2.81 | p=0.094 |
| E3 | 0.086 | 896 | 84.72 | p<0.001 |
| E4 | 0.203 | 896 | 227.52 | p<0.001 |

En la regresión practicada a los CP del ACP utilizando las distancias entre puntos se encontró que si existe una fuerte relación entre el CP1 el LLP lo que indica que la extracción de la variable isométrica no eliminó del todo el efecto del tamaño en el análisis del componentes principales (Tabla 19).

Tabla 19: Regresión lineal entre el LLP y los 4 primeros CP del ACP de las distancias entre puntos después de haber restado la variable isométrica.

| Variable | Independiente: LLP | | | |
|-------------|--------------------|--------------------|---------|---------------|
| Dependiente | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
| CP1 | 0.778 | 903 | 3166.17 | p<0.001 |
| CP2 | 0.004 | 903 | 3.79 | p=0.052 |
| CP3 | 0.002 | 903 | 1.79 | p=0.181 |
| CP4 | 0.011 | 903 | 10.49 | p=0.001 |

Al graficar los CP 2 y 3 en el CVA de las coordenadas de Bookstein, se observa como ahora coinciden casi en su totalidad las tortugas de México con las tortugas de El Perú y este patrón se repite en la gráfica del ACP de las distancias entre grupos (Figura 24 y 25).

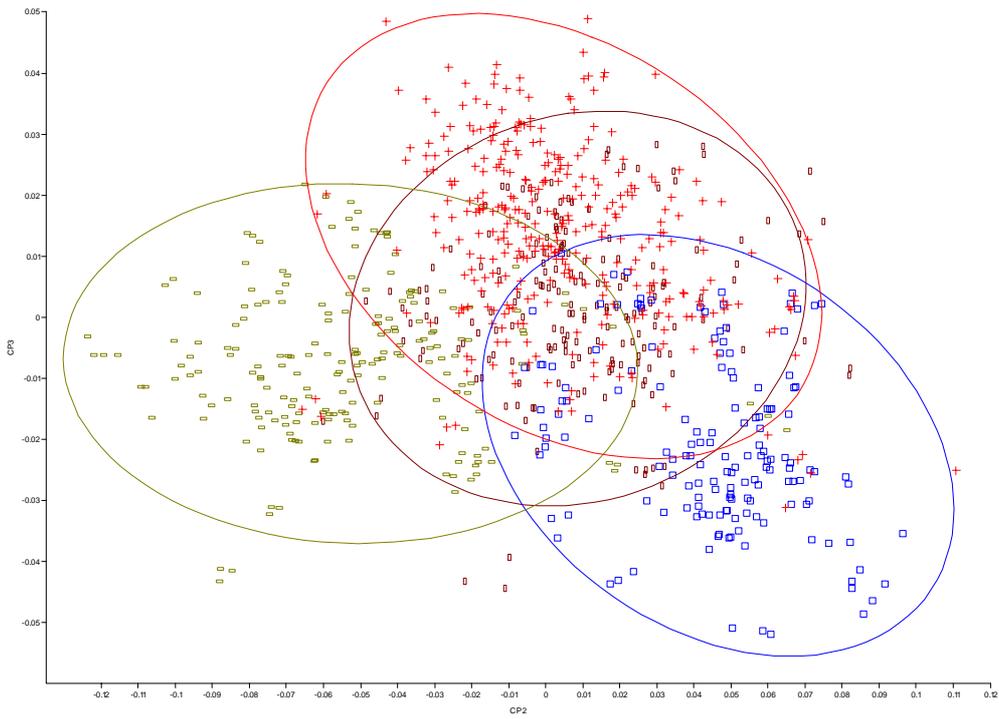


Figura 24: Análisis Discriminante Canónico -CVA-, con los eigenvalores producidos del ACP de las coordenadas de Bookstein. Graficándose los CP 2 y 3
 Rojo: El Perú; oliva: Yaxha; azul: Río Azul y corinto: México.

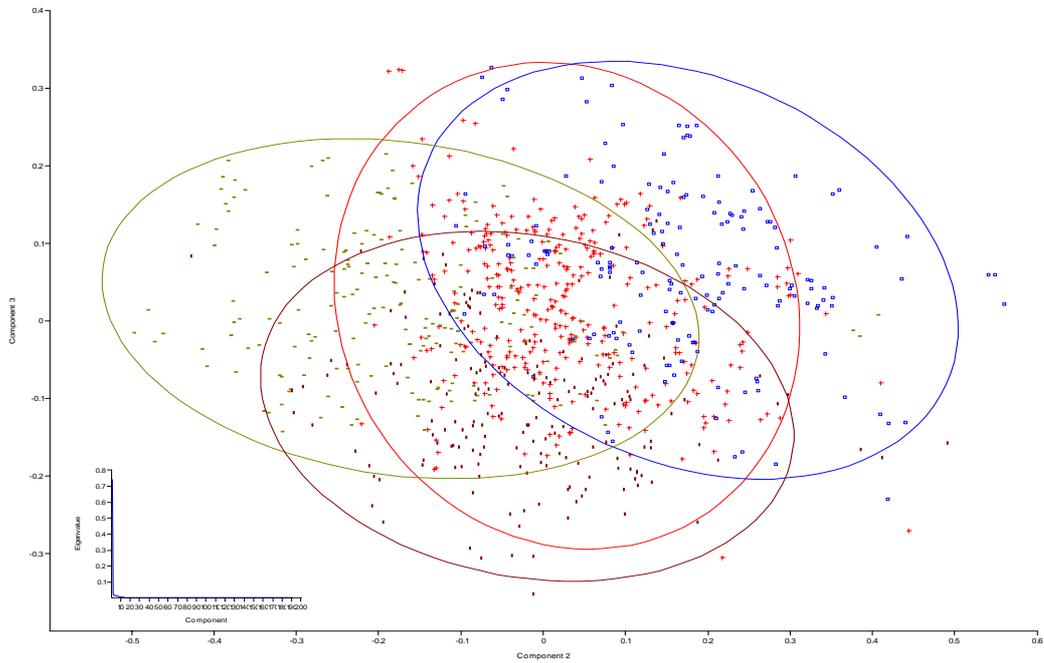


Figura 25: Análisis de Componentes Principales -ACP-, utilizando las distancias entre puntos, restando la variable isométrica. Graficándose los Componentes Principales CP 2 y 3.
 Rojo: El Perú; oliva: Yaxha; azul: Río Azul y corinto: México.

Para comprobar si existían asimetrías sistémicas en el plastrón de las tortugas se comparó las distancias equivalentes entre puntos del lado derecho con puntos del lado izquierdo, encontrándose diferencias significativas en dos ocasiones en Río Azul y 4 ocasiones en laguna Sacnab (en Yaxha) (Tabla 20). Esto no supone que existan problemas de asimetría en ninguna población pero queda por comprobar ya que no se tiene punto de comparación de cómo es la situación cuando una población de tortugas si tiene problemas de asimetrías producto de la endogamia.

Tabla 20: Comprobación de simetría de plastrón de tortugas comparando medidas equivalentes utilizando prueba T de Student

| Medidas | Perú N=351 | Río Azul N=165 | Salpeten N=91 | Yaxha N=110 | México N=189 |
|----------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1-2,14-13 | p=0.70918 | p=0.55469 | p=0.35667 | p=0.36498 | p=0.86351 |
| 1-3,14-12 | p=0.51458 | p=0.85804 | p=0.74248 | p=0.53456 | p=0.96141 |
| 1-4,14-11 | p=0.91567 | p=0.85832 | p=0.95854 | p=0.87233 | p=0.94087 |
| 1-5,14-10 | p=0.88216 | p=0.98344 | p=0.86826 | p=0.88457 | p=0.95381 |
| 1-6,14-9 | p=0.99994 | p=0.97373 | p=0.97687 | p=0.95691 | p=0.99149 |
| 1-7,14-8 | p=0.98202 | p=0.89871 | p=0.96428 | p=0.90827 | p=0.98932 |
| 1-8,14-7 | p=0.94442 | p=0.96767 | p=0.99967 | p=0.88089 | p=0.94791 |
| 1-9,14-6 | p=0.98302 | p=0.90128 | p=0.99063 | p=0.91246 | p=0.91611 |
| 1-10,14-5 | p=0.87776 | p=0.8613 | p=0.89178 | p=0.88319 | p=0.87476 |
| 1-11,14-4 | p=0.81283 | p=0.57825 | p=0.93111 | p=0.82065 | p=0.8021 |
| 1-12,14-3 | p=0.39997 | p=0.54007 | p=0.7493 | p=0.45899 | p=0.77559 |
| 1-13,14-2 | p=0.8097 | p=0.46906 | p=0.68514 | p=0.80081 | p=0.96365 |
| 1-15,14-15 | p=0.13472 | p=0.62998 | p=0.8185 | p=0.35747 | p=0.18303 |
| 1-16,14-16 | p=0.70793 | p=0.18591 | p=0.96896 | p=0.44239 | p=0.81339 |
| 1-17,14-17 | p=0.79065 | p=0.63762 | p=0.91859 | p=0.91487 | p=0.87052 |
| 1-18,14-18 | p=0.96114 | p=0.76311 | p=0.95642 | p=0.93686 | p=0.90323 |
| 1-19,14-19 | p=0.99064 | p=0.91169 | p=0.97807 | p=0.96616 | p=0.93211 |
| 1-20,14-20 | p=0.98816 | p=0.92864 | p=0.97877 | p=0.99953 | p=0.95408 |
| 2-3,13-12 | p=0.2533 | p=0.92707 | p=0.23845 | p=0.17938 | p=0.87164 |
| 2-4,13-11 | p=0.73586 | p=0.95039 | p=0.82249 | p=0.62229 | p=0.9153 |
| 2-5,13-10 | p=0.67534 | p=0.98047 | p=0.63866 | p=0.66512 | p=0.89819 |
| 2-6,13-9 | p=0.82392 | p=0.98755 | p=0.80217 | p=0.77508 | p=0.94647 |
| 2-7,13-8 | p=0.8113 | p=0.96042 | p=0.81102 | p=0.73728 | p=0.96936 |
| 2-8,13-7 | p=0.71905 | p=0.88228 | p=0.85647 | p=0.96534 | p=0.98139 |
| 2-9,13-6 | p=0.80126 | p=0.9761 | p=0.85415 | p=0.94325 | p=0.94149 |
| 2-10,13-5 | p=0.8773 | p=0.98183 | p=0.9941 | p=0.98099 | p=0.89901 |
| 2-11,13-4 | p=0.97871 | p=0.55347 | p=0.8082 | p=0.94421 | p=0.77226 |
| 2-12,13-3 | p=0.62469 | p=0.70203 | p=0.76284 | p=0.46962 | p=0.72719 |
| 2-15,13-15 | p=0.49586 | p=0.47486 | p=0.70618 | p=0.77344 | p=0.33196 |

| Medidas | Perú N=351 | Río Azul N=165 | Salpeten N=91 | Yaxha N=110 | México N=189 |
|----------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| 2-16,13-16 | p=0.9834 | p=0.0928 | p=0.94662 | p=0.00733* | p=0.89811 |
| 2-17,13-17 | p=0.83593 | p=0.4579 | p=0.94545 | p=0.51373 | p=0.86067 |
| 2-18,13-18 | p=0.81253 | p=0.57529 | p=0.70224 | p=0.59928 | p=0.85562 |
| 2-19,13-19 | p=0.76243 | p=0.92176 | p=0.80591 | p=0.9028 | p=0.9161 |
| 2-20,13-20 | p=0.77694 | p=0.9592 | p=0.81963 | p=0.80437 | p=0.97377 |
| 3-4,12-11 | p=0.83025 | p=0.87524 | p=0.81937 | p=0.97191 | p=0.87699 |
| 3-5,12-10 | p=0.99299 | p=0.86105 | p=0.8777 | p=0.99851 | p=0.8553 |
| 3-6,12-9 | p=0.92315 | p=0.89619 | p=0.98583 | p=0.97877 | p=0.88582 |
| 3-7,12-8 | p=0.94773 | p=0.86956 | p=0.94268 | p=0.87642 | p=0.87867 |
| 3-8,12-7 | p=0.79091 | p=0.67214 | p=0.96792 | p=0.91409 | p=0.91908 |
| 3-9,12-6 | p=0.86675 | p=0.82911 | p=0.91763 | p=0.98409 | p=0.92198 |
| 3-10,12-5 | p=0.87744 | p=0.75385 | p=0.95675 | p=0.96217 | p=0.9128 |
| 3-11,12-4 | p=0.86505 | p=0.57805 | p=0.80346 | p=0.93411 | p=0.90007 |
| 3-15,12-15 | p=0.52114 | p=0.63727 | p=0.65882 | p=0.28775 | p=0.58898 |
| 3-16,12-16 | p=0.41985 | p=0.63124 | p=0.61899 | p=0.00258* | p=0.70775 |
| 3-17,12-17 | p=0.38871 | p=0.48644 | p=0.47939 | p=0.065006 | p=0.65892 |
| 3-18,12-18 | p=0.99896 | p=0.34238 | p=0.69468 | p=0.44825 | p=0.83534 |
| 3-19,12-19 | p=0.85565 | p=0.96177 | p=0.91976 | p=0.93197 | p=0.93477 |
| 3-20,12-20 | p=0.8812 | p=0.90533 | p=0.92884 | p=0.88499 | p=0.94785 |
| 4-5,11-10 | p=0.50437 | p=0.92814 | p=0.10297 | p=0.91715 | p=0.8511 |
| 4-6,11-9 | p=0.85597 | p=0.50446 | p=0.77173 | p=0.8522 | p=0.58075 |
| 4-7,11-8 | p=0.46476 | p=0.3124 | p=0.77842 | p=0.84882 | p=0.64366 |
| 4-8,11-7 | p=0.29069 | p=0.14958 | p=0.85485 | p=0.82418 | p=0.69359 |
| 4-9,11-6 | p=0.49591 | p=0.2427 | p=0.9019 | p=0.94031 | p=0.64766 |
| 4-10,11-5 | p=0.50912 | p=0.15538 | p=0.87187 | p=0.95319 | p=0.62103 |
| 4-15,11-15 | p=0.93055 | p=0.66935 | p=0.96074 | p=0.77592 | p=0.76204 |
| 4-16,11-16 | p=0.92824 | p=0.81677 | p=0.88781 | p=0.47153 | p=0.78532 |
| 4-17,11-17 | p=0.86364 | p=0.74521 | p=0.54476 | p=0.46424 | p=0.77266 |
| 4-18,11-18 | p=0.51258 | p=0.10443 | p=0.36366 | p=0.01756* | p=0.73379 |
| 4-19,11-19 | p=0.25111 | p=0.37772 | p=0.70729 | p=0.70011 | p=0.862 |
| 4-20,11-20 | p=0.39701 | p=0.36952 | p=0.77351 | p=0.76241 | p=0.77023 |
| 5-6,10-9 | p=0.58681 | p=0.71652 | p=0.83318 | p=0.81869 | p=0.98399 |
| 5-7,10-8 | p=0.78513 | p=0.78625 | p=0.93383 | p=0.81475 | p=0.92347 |
| 5-8,10-7 | p=0.57922 | p=0.5577 | p=0.9528 | p=0.81514 | p=0.99532 |
| 5-9,10-6 | p=0.94807 | p=0.85635 | p=0.89093 | p=0.92249 | p=0.95992 |
| 5-15,10-15 | p=0.95156 | p=0.9323 | p=0.85294 | p=0.80587 | p=0.83356 |
| 5-16,10-16 | p=0.96369 | p=0.86249 | p=0.8611 | p=0.5733 | p=0.88423 |
| 5-17,10-17 | p=0.73409 | p=0.65696 | p=0.92964 | p=0.61859 | p=0.95265 |
| 5-18,10-18 | p=0.5666 | p=0.00018* | p=0.26421 | p=0.0.283* | p=0.29146 |
| 5-19,10-19 | p=0.7179 | p=0.2465 | p=0.70989 | p=0.52644 | p=0.23206 |
| 5-20,10-20 | p=0.76726 | p=0.53393 | p=0.80541 | p=0.49611 | p=0.73619 |
| 6-7,9-8 | p=0.74069 | p=0.43342 | p=0.9427 | p=0.83482 | p=0.69716 |
| 6-8,9-7 | p=0.28613 | p=0.20073 | p=0.90379 | p=0.92201 | p=0.96339 |

| Medidas | Perú N=351 | Río Azul N=165 | Salpeten N=91 | Yaxha N=110 | México N=189 |
|----------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| 6-15,9-15 | p=0.96561 | p=0.96883 | p=0.98603 | p=0.902 | p=0.91042 |
| 6-16,9-16 | p=0.94904 | p=0.93479 | p=0.99397 | p=0.78277 | p=0.94056 |
| 6-17,9-17 | p=0.79563 | p=0.85191 | p=0.86675 | p=0.8207 | p=0.96745 |
| 6-18,9-18 | p=0.67322 | p=0.04967* | p=0.56166 | p=0.24219 | p=0.57631 |
| 6-19,9-19 | p=0.47432 | p=0.12631 | p=0.71543 | p=0.38786 | p=0.06209 |
| 6-20,9-20 | p=0.47771 | p=0.44052 | p=0.7052 | p=0.21007 | p=0.57729 |
| 7-15,8-15 | p=0.94592 | p=0.92506 | p=0.97994 | p=0.88681 | p=0.9678 |
| 7-16,8-16 | p=0.93865 | p=0.89842 | p=0.97821 | p=0.84908 | p=0.97276 |
| 7-17,8-17 | p=0.88807 | p=0.85149 | p=0.99434 | p=0.84105 | p=0.97498 |
| 7-18,8-18 | p=0.77443 | p=0.5201 | p=0.91635 | p=0.64922 | p=0.95542 |
| 7-19,8-19 | p=0.63005 | p=0.17279 | p=0.86907 | p=0.80784 | p=0.70582 |
| 7-20,8-20 | p=0.62442 | p=0.05403 | p=0.80403 | p=0.3894 | p=0.72055 |
| Total | 0 | 2 | 0 | 4 | 0 |
| Porcentaje | 0% | 2.38% | 0% | 4.76% | 0% |

9. Discusión

Comparación morfométrica entre sexos y edades

La transformación de las coordenadas hechas por la morfometría geométrica utilizando la fórmula de Bookstein, muestra que existe congruencia en los puntos seleccionados para representar la forma del plastrón de las tortugas, donde al sobreponer todas las coordenadas de los puntos homólogos de la muestra, estos coinciden en una nube. No obstante es importante aclarar que en cada agregación existe una esperada variación, la cual corresponde a las diferencias en forma del plastrón de las tortugas y no al tamaño, orientación o posición de estos en el espacio (Figura 6 y 7).

La comparación entre machos y hembras no ha mostrado algún patrón claro, la variación es mayor entre los espécimenes que provienen de distintas cuencas, que entre sexos de la misma cuenca, esto es de esperarse ya que todos los espécimenes de una misma cuenca provienen del mismo grupo genético. El dimorfismo sexual que se reporta para esta especie consiste en mayores dimensiones para la hembra y una cola mucho más grande para el macho (Polisar, 1995). También se dice que en el vientre el macho tiene una forma cóncava que le permite facilitar la copulación, pero no existen datos que así lo comprueben (Figuras 8, 9 y 10).

El efecto que el crecimiento tiene sobre la forma del plastrón en *D. mawii* se evidencia en el ACP que se obtuvo al analizar las tortugas provenientes de la granja del estado de Tabasco (Tabla 3, Figuras 11 y 13) viéndose como existe una variación desde una forma bastante redonda, cuando pequeñas, a una más alargada en edades adultas (Figura 12). De esta manera se comprueba que la forma general del plastrón en *D. mawii*, varía conforme la edad, y para comparar entre distintas cuencas es necesario comparar individuos que estén el mismo rango de tamaño.

La principal variación en la forma del plastrón se da en orientación de tal modo, que no se rompe la forma de elipse asimétrica del plastrón, en una disposición que no afecta su hidrodinámica. Esto es de esperarse ya que de lo contrario, al darse una deformación del plastrón que provoque problemas en el desplazamiento de las tortugas en su medio, estas podrían estar sujetas a desaparecer por selección natural (Figura 12 y 19).

Las comparaciones del peso relacionado con el tamaño de las tortugas en cautiverio con las tortugas de poblaciones silvestres (Figuras 14, 15 y 16, Tablas 4, 5, 6 y 7), sugieren que las tortugas en estado silvestre tienen acceso a una dieta más nutritiva. Es por ello que es necesaria la investigación en la composición de la dieta de tortugas en estado silvestre en distintas situaciones, para poder suplir los requerimientos nutricionales para *D. mawii* en cautiverio, también se deben de comparar distintas poblaciones silvestres para ver si se presentan casos en los cuales el deterioro del medio, lleve a la especie a un estado de desnutrición que se pueda prevenir o mitigar, a través de un plan de manejo del bosque ribereño.

Comparación morfométrica entre poblaciones de distintas cuencas hidrográficas

Las medidas tomadas en campo directamente sobre el caparazón de *D. mawii*, no permiten realizar un análisis en el cual se compare su forma entre distintas cuencas, ya que todas se encuentran fuertemente relacionadas con el tamaño. El convertir estas medidas a proporciones, nos permitió anular su relación con el tamaño, sugiriendo la ausencia de la variación de estas conforme el desarrollo. Pero aun así estas medidas no permiten hacer inferencias lógicas sobre la comparación de la forma del caparazón de las tortugas entre distintas cuencas (Tablas 8, 9 y 10 Anexos 3 y 4).

En las variables obtenidas en el análisis morfométrico geométrico no se encontró una distribución normal por lo que se procedió a realizar una prueba de varianza no

paramétrica (Tabla 11). Las pruebas de varianza (Kruskal-Wallis) sugieren que los grupos definidos con anterioridad (cada cuenca) son distintos. La comparación pareada muestra que existen similitudes dentro de distintos sitios provenientes de una misma macro cuenca, como lo es El Perú y la granja del estado de Tabasco, que pertenecen a la macro cuenca del Río Usumancinta. También se infiere que existe mayor similitud dentro de las poblaciones de la macro cuenca del Usumacinta (Perú y México) con las poblaciones de la macro cuenca del Río Mopán (Yaxha) (Tabla 12).

A diferencia de las medidas tomadas en campo directamente sobre el caparazón, las medidas obtenidas en laboratorio sobre las uniones de las escamas del plastrón de tortugas blancas (*Dermatemys mawii*) que provenían de distintas cuencas, mostraron diferencias en el análisis morfométrico, utilizando dos técnicas distintas (tradicional y geométrica).

En el perfil de Guillaumin no se distinguen mayores tendencias o relaciones lógicas entre las variables, lo que destaca mencionar es que en todas las variables la población de El Perú no presenta mayor variación respecto a las demás poblaciones, ello también se ve reflejado en los posteriores análisis de ordenación (Figuras 17, 18, 20, 23, 24 y 25). Esto sugiere que es la población que presenta la mayor similitud con todas las poblaciones, esto puede tener dos explicaciones: 1) que ha sido la última en separarse de resto de poblaciones o 2) que es producto de la hibridación entre el resto de las poblaciones. Ambas explicaciones resultan bastante lógicas ya que es la población que se encuentra geográficamente ubicada en el centro, de la distribución de esta especie en las cuencas analizadas.

Al utilizarse la morfometría geométrica se distinguieron las cuatro poblaciones en un análisis de Componentes Principales, el cual toma a todos los individuos como pertenecientes a un grupo continuo y los compara uno por uno (Figura 18). Al tener la libertad que nos da el encontrar una segregación de grupos en el -ACP- que corresponde a grupos lógicos en los sistemas naturales, nos permite formar grupos

según nuestro diseño, donde se contrastan tortugas provenientes de distintas cuencas, y nos permite comprobar cuan distintos son estos grupos unos de otros, en base a un análisis discriminante canónico -ADC- (Figura 20, Tabla 13).

El -ADC- en las pruebas de varianza multivariada (Tabla 13), mostró que existen diferencias significativas dentro de los cuatro grupos y una prueba de Bonferroni comprobó que de forma pareada, también existen diferencias significativas dentro de todos los grupos previamente definidos.

En la gráfica del -ADC- (Figura 20) vemos como se separan los grupos de una manera más clara, donde la mayoría de los puntos se encuentran separados por grupo. También se ve como la mayor intersección entre grupos se da entre los individuos de las lagunas El Perú y Yaxha, dejando a un extremo opuesto a Río Azul.

México aparece en el análisis discriminante canónico como un grupo aislado, pero cuando analizamos la gráfica de manera independiente cada componente principal vemos que la separación se da en el CP1 separando los individuos provenientes de Guatemala de los mexicanos (Figura 20), mientras en el CP2 separa México de Río Azul y Yaxha y lo une con El Perú. Un posterior análisis de regresión mostró que el CP 1 aún cuenta con un 40% de relación con el tamaño, a pesar de la transformación de Bookstein sobre las coordenadas originales (tabla 18).

En la morfometría tradicional se utilizó la resta de la primer variable Isométrica (la cual se encuentra fuertemente relacionada con el tamaño, Figura 21 y Tabla 14) para eliminar el efecto del tamaño sobre el análisis. Se esperaba que el efecto del tamaño sobre las variables se anulara ya que la segunda variable isométrica no presentaba una relación directa con el tamaño (Figura 22, Tabla 15). Además la variable isométrica uno solamente presenta una relación directa con 11 de las 191 variables, después de haberse restado la primer variable isométrica, tema que se discutirá más adelante (tabla 16).

En morfometría tradicional vemos que se repiten los patrones de segregación de grupos, como se dio utilizando la morfometría geométrica. En esta gráfica de -ACP- podemos ver claramente como se repite lo inferido a partir de las pruebas de Kruskal-Wallis de las variables en el análisis morfométrico geométrico, utilizando las coordenadas de Bookstein. La Laguna El Perú pertenece casi completamente al grupo de México y se une en mayor grado a Yaxha, comparado con Río Azul (Figura 23).

Se utilizaron dos distintas técnicas morfométricas (geométrica y tradicional), en ambas se incluyen métodos de eliminación del efecto de la orientación, posición y la escala (transformación a coordenadas de Bookstein en morfometría geométrica y la sustracción de variables isométricas en morfometría tradicional). Pero podemos ver como la eliminación del efecto del tamaño no es del todo completada con estas metodologías y una comprobación del significado de la separación que nos hacen los CP en los análisis de ordenación es útil y necesaria para la eliminación del efecto del tamaño (tabla 17, 18 y 19). Una vez alcanzado esto podemos ver que las dos técnicas nos dan resultados idénticos confirmando así nuestros resultados de manera independiente con cada una (Figuras 24 y 25).

La separación que se representa entre el Perú y México está relacionada posiblemente a dos cosas: Primero, la granja se ha convertido en una población semi cerrada donde no existe intercambio genético con ninguna población silvestre, de no ser por algunas tortugas que llegan por donaciones de particulares o por decomisos que realicen las autoridades mexicanas. La otra explicación radica en que aun no sabemos cuales pueden ser las barreras de dispersión para *D. mawii* dentro de una misma macro cuenca con conexiones fluviales que puedan impedir la libre reproducción e intercambio genético dentro de toda la macro cuenca. De cualquier manera esta diferencia es inferior a las diferencias encontradas entre cuencas después de anular el efecto que tiene la variación relacionada al tamaño.

El encontrar que Río Azul es la población que presenta mayores diferencias entre las poblaciones de las tres diferentes cuencas, nos dice que podría ser la primera población en aislarse de las otras.

El haber encontrado variaciones considerables entre las poblaciones pertenecientes a distintas cuencas, nos dice que podemos encontrar frente a un proceso de especiación, producto del aislamiento reproductivo que provoca la separación de los cuerpos de agua por barreras geológicas, como las amplias extensiones de tierra que la especie no puede salvar debido a su hábito exclusivamente acuático.

El análisis de simetría sugiere que no existen problemas y las poblaciones muestreadas son saludables en este aspecto y en las poblaciones cerradas como Yaxha o Salpetén no se ha llegado a un nivel extremo de endogamia que produzca malformaciones en el plastrón (Tabla 20), sin embargo vale la pena realizar un estudio molecular que analice el grado de endogamia en los distintos cuerpos de agua ya que no se tiene un punto de partida que defina en que momento las asimetrías representan problemas de endogamia.

Observaciones Generales

Cuando observamos la Tabla 2 nos damos cuenta que no existe una equidad en la proporción de sexos en varios cuerpos de agua, y a pesar de no ser el tema de central del presente trabajo, es algo que vale la pena discutir. De una forma cualitativa al observar la forma y disponibilidad del bosque ribereño, podemos ver como se relaciona con la proporción de sexos en las poblaciones de tortuga blanca presentes en cada cuerpo de agua. En un lugar con alta insolación en las orillas del cuerpo de agua, como Salpetén (M1:H3), se encuentra una mayor cantidad de hembras, en cambio en sitios con una alta cobertura boscosa en las orillas como El Perú (la población del Río San Pedro es parte de la población de El Perú, así que no se considera aparte), se puede encontrar una mayor cantidad de machos (M2.3:H1). Esto mientras en sitios como Yaxha (M1.5:H1) y Río Azul (M1:H1) existe un equilibrio en la proporción de sexos, al presentar un bosque ribereño que permite insolación

media. Este mismo patrón se repite en la granja de reproducción de tortugas del gobierno de Tabasco donde se alcanzan temperaturas ambientales muy elevadas, encontrándose un sesgo hacia las hembras (M1:H18).

La insolación de las orillas de los cuerpos de agua y la cantidad de materia orgánica que el suelo presenta, son los encargados de dar la temperatura de incubación a los huevos de la tortuga blanca. Para esta especie, la temperatura umbral de incubación (temperatura a la cual el 50 % de las crías son machos y el 50 % son hembras), es de 28 ° C. En cuerpos de agua como en Laguna El Perú y Laguna Salpetén, se encuentran proporciones de sexos extremas, en Laguna El Perú contando con un exceso de machos y Laguna Salpetén, con un sesgo hacia las hembras. Esto lo explicamos considerando las características del bosque ribereño, encontrando un bosque alto y maduro en las orillas de Laguna El Perú, lo cual proporciona bastante sombra y bajas temperaturas de incubación en los nidos de tortuga blanca. En contraste con las características de la Laguna Salpetén, donde el bosque ribereño se encuentra altamente degradado, y en la mayor parte del perímetro de la laguna se encuentra ausente, propiciando altas temperaturas de incubación en los nidos de tortuga blanca, lo que se refleja en una población con un sesgo hacia las hembras.

En Yaxha se observa que la parte Sur está altamente impactada por la crianza de ganado, por lo cual la vegetación boscosa ha sido removida, mientras al Norte la vegetación se encuentra bastante protegida por el Parque Nacional Yaxha-Nackun-Naranja, esto le da una probabilidad aproximada del 50% a una tortuga hembra de depositar sus huevos en un área con alta o baja insolación, la cual determinará el sexo de sus crías. Río Azul es un área bastante conservada donde la comunidad más cercana del lado guatemalteco se encuentra a más de 100 km. de distancia, y la vegetación ribereña no ha sufrido ninguna transformación por influencia antropogénica, esta vegetación presenta características de bosques secos e inundados en temporada lluviosa (bajos), lo que impide que se dé un crecimiento boscoso parecido al encontrado en Laguna El Perú, creando de esta manera,

condiciones idóneas para la incubación en temperaturas moderadas que redunden en una proporción de sexos de 1:1.

Esto lo confirman las observaciones en la granja del estado de Tabasco donde se alcanzan temperaturas muy elevadas en el ambiente, lo que redundando en temperaturas de incubación muy altas, teniéndose una proporción de sexos extrema, donde por cada macho se encuentran 18 hembras. El Biol. Lic. José del Carmen (encargado de la granja de tortugas del estado de Tabasco), y la Biol. M.Sc. Claudia Centeno (investigadora del Colegio de la frontera Sur ECOSUR y La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco) en conversación personal afirmaron que en estado silvestre ha sido difícil encontrar especímenes machos de tortuga blanca, e incluso para el establecimiento de la granja de cría en cautiverio fue difícil la tarea de contar con machos como pie de cría. Esto hace referencia a la historia de Tabasco, un estado en el cual se ha dado una gran explotación a los recursos naturales desde hace mucho tiempo, lo que ha redundado en cuerpos de agua con poca cobertura en sus riberas, además de las altas temperaturas características del lugar.

Patrones de proporciones de sexos 1:1 ideales para una reproducción al azar, se encontraron en Yaxha y Río Azul, esto nos hace pensar que ambos sitios deberían presentar características similares de incubación para los nidos de tortuga blanca. Pero vemos que Yaxha es un sitio con moderada intervención por el hombre, y Río Azul es un sitio con un alto grado de conservación en sus bosques ribereños. Esto implica que las condiciones de insolación sobre los nidos de tortuga blanca deben ser parecidas, por un lado producto de la intervención en el medio y en otro por sus características propias. Esto nos hace pensar que la especie pudo haber evolucionado en condiciones parecidas a estas. Durante las últimas glaciaciones cuando aparecieron las especies endémicas de la península de Yucatán incluida *Dermatemys mawii*, el tipo de ambiente y vegetación dominante en el área correspondía a un bosque seco (similar al que ahora encontramos al Norte de la península). Actualmente durante el periodo interglaciar, en el que nos encontramos, la vegetación es más alta y responde a climas más húmedos. El bosque seco se ha

desplazado al Norte donde la precipitación es menor. Para *D. mawii* el haber aparecido en climas característicos de un bosque seco propició su adaptación a las condiciones que se encuentran en él, definiendo de esta manera su temperatura umbral como la temperatura que se encontraba predominante en los nidos en ese medio.

Ahora que nos encontramos en una temporada interglaciar, las condiciones son diferentes en buena parte de la distribución de la tortuga blanca, pero su temperatura umbral de incubación no se ha modificado para adaptarse a este nuevo medio, teniendo como estrategia alternativa el contar con grandes tamaños poblacionales que disminuyen el efecto del sesgo hacia un sexo. El tamaño de una población, al hablar en términos genéticos no es igual al número total de individuos, más bien responde al número total de individuos que pasan su información genética a la siguiente generación (Harris y Allendorf 1988). El tener una población con sesgo hacia un sexo, produce que una parte de la población no pueda reproducirse y por ende, está fuera de la población genética, que es la encargada de la preservación de la especie.

Ahora que la especie se encuentra sujeta a la reducción de sus tamaños poblacionales debido a su explotación cinegética, la estrategia de tamaños poblacionales grandes que permitan su reproducción, se ve amenazada. De igual manera, la degradación del bosque ribereño provoca un aumento en el número de hembras con respecto al número de machos, lo que puede colocarnos frente a un escenario donde existan hembras que no puedan ser fecundadas por la poca disponibilidad de machos y de igual manera aunque estas sean fecundadas el número efectivo de individuos que contribuyen a la transmisión de genes a la siguiente generación disminuye. En la actualidad el tema del cambio climático debe ser abordado, tomado en cuenta sus posibles efectos sobre los sistemas naturales. El aumento en la temperatura a nivel global podría afectar directamente la composición de las poblaciones silvestres de tortuga blanca.

10. CONCLUSIONES

Comparación morfométrica entre sexos y edades

1. No se encontró diferencia significativas de forma en la disposición de las escamas del plastrón en *D. mawii* entre sexos.
2. Existe variación en la forma de la disposición de las escamas del plastrón de *D. mawii* relacionada al desarrollo.
3. Las tortugas en estado silvestre presenta una relación peso tamaño (W/LLP) de hasta un 40% superior al de las tortugas en cautiverio y aumentan el doble de peso que las tortugas en cautiverio al aumentar en 2 cm. el largo lineal de su plastrón.

Comparación morfométrica entre poblaciones de distintas cuencas hidrográficas

4. Las medidas tomadas directamente sobre el caparazón de tortugas en el campo presentaron una alta relación con el tamaño, por lo que no pudieron ser utilizadas en el contraste de la forma del caparazón de tortugas provenientes de distinta cuencas.
5. Según el análisis morfométrico de la unión entre las escamas del plastrón, tanto geométrico como tradicional, *D. mawii* presenta diferencias significativas entre poblaciones provenientes de distintas cuencas.
6. La población presente en Río Azul presenta mayor diferencia entre las cuencas estudiadas.

7. Los datos del presente estudio sugieren que la separación de cuencas entre la macro cuenca del Río Usumancinta y la macro cuenca del Río Mopán es más reciente que la separación de la cuenca de Río Azul (o Río Hondo)
8. La variación de la disposición de las escamas en el plastrón se da de tal forma que refleja que el plastrón en sí, no pierde su hidrodinámica a pesar de las diferencias entre cuencas.
9. al analizar las coordenadas de puntos de unión entre escamas del plastrón, las diferencias entre cuencas son soportadas de igual manera por las dos técnicas morfométricas utilizadas (tradicional y geométrica).
10. La sustracción de la variable isométrica (media de distancias en log₁₀) en morfometría tradicional no eliminó del todo la variación producto de tamaño.
11. Las tortugas de Río Azul presentaron 2 casos de asimetría y las tortugas de Yaxha 4 casos de 84 analizados, el resto de las poblaciones no presentaron ningún caso de asimetrías.

Observaciones Generales

12. Las diferencias en las proporciones de sexos podrían darse como respuesta a las condiciones de incubación que provoca la composición del bosque ribereño.
13. La tortuga blanca (*Dermatemys mawii*) podría presentar adaptaciones reproductivas para sistemas de bosques bajos, como los que se encontraban en la Península de Yucatán en los periodos glaciales y que en la actualidad se restringen al Norte de la parte central de esta.

11. RECOMENDACIONES

1. Explorar a nivel detallado si existen medidas directas en el caparazón de *D. mawii* que permitan distinguir su cuenca de origen.
2. Ya que en el presente trabajo se consiguió analizar tortugas provenientes del centro de la distribución de *D. mawii* (El Petén) se recomienda analizar tortugas provenientes de otros cuerpos de agua, aunque pertenezca a las mismas macro cuencas ya analizadas, esto permitirá poder inferir sobre la evolución de las cuencas y el efecto de este proceso sobre *D. mawii*.
3. Realizar análisis moleculares que brinden más información sobre las diferencias genéticas para *D. mawii* entre cuencas.
4. Realizar un estudio geológico que analice la evolución de las cuencas en la península de Yucatán.
5. Estudiar el rango de sexos y las temperaturas de incubación en los nidos para *D. mawii* en un mayor número de cuerpos de agua, en los cuales se presenten distintos patrones de cobertura de bosque ribereño, para comparar con las inferencias desarrolladas en el presente trabajo, y tomarse en cuenta por sus implicaciones evolutivas y de conservación de la especie.
6. Realizar estudios de dieta en individuos silvestres que permitan el mejoramiento de la dieta para individuos en cautiverio, y comparar distintas poblaciones silvestres para prevenir o mitigar malnutrición de la especie en algún área a través del manejo del bosque ribereño.

12. REFERENCIAS

1. -----1986-1998. NTSYSpc © Applied Biostatistics Inc.
2. **Bookstein F.** 1997. Morphometric tools for landmark data geometry and biology, Cambridge University Press, EE UU p 435
3. **Campbell, J.** 1998. Amphibians and Reptiles of Northern Guatemala, the Yucatan and Belize. University of Oklahoma. p. 111-113
4. **Dujardin, J. P.** 2000. Introducción a la Morfometría con énfasis en Triatominae y Phlebotominae. Instituto de investigaciones para el desarrollo, Paris, Francia.
5. **Fundación Defensores de la Naturaleza.** 2004. Plan Maestro: Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic (2004-2008). Guatemala.
6. **Garcia R., J. Soto, D. Juárez, y V. Epejel** 2005. Distribution and ecology of wild populations of the CA river turtle (*Dermatemys mawii*: Dermatemidae) in the corridor of the Maya forest in Guatemala (Protocolo de Investigación). WCS-Guatemala.
7. **Gillespie, J.** 1998. Population Genetics a Concise Guide the Johns Hopkins University Press London p 173
8. **Hammer Ø., D.A.T. Harper and P.D. Ryan** 2006. PAST version 1.48- Palaeontological statistics software package for education and data analysis. Paleontología electrónica 4(1):9pp
9. **Harris R. y Allendorf F.** 1988. Genetically effective population size of large mammals: an assessment of estimators, *in*: Ehrenfeld D. 1995 Genes, population and Species. Conservation Biology.

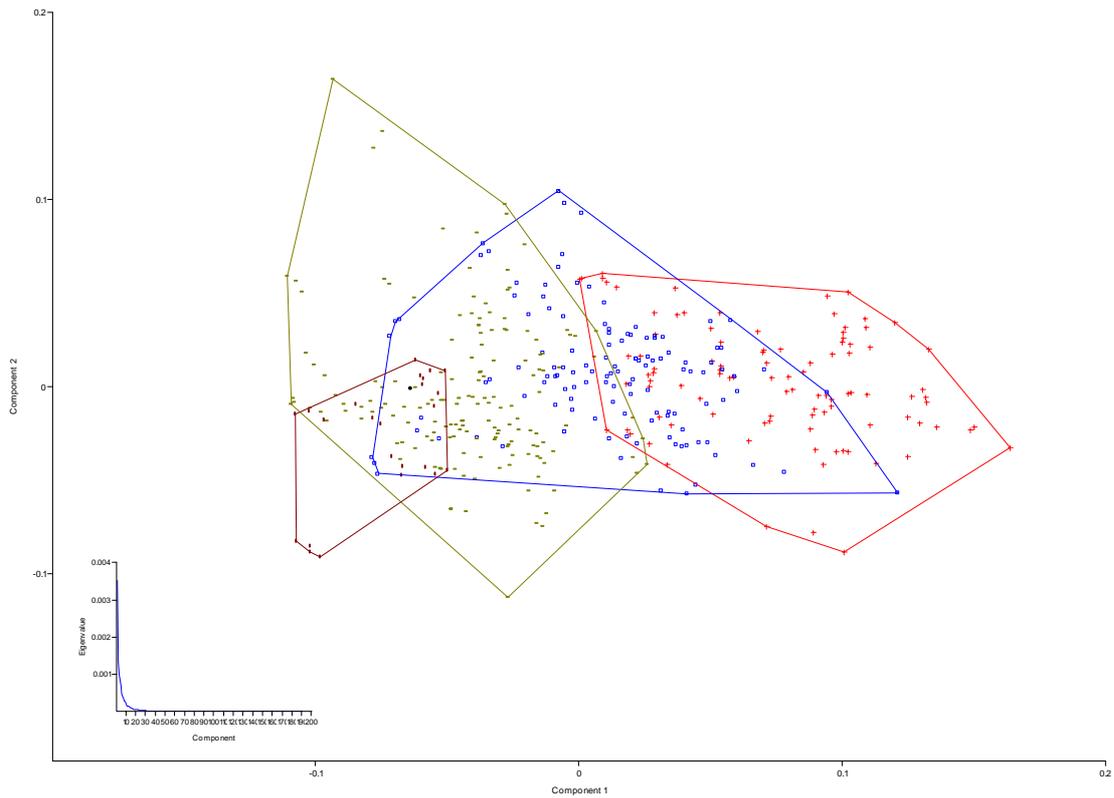
10. **Köler, G.** 2003. Reptiles de Centroamérica. Herpetón. P 33-35
11. **Lee R.** 1969. Observing the Tortuga Blanca. International Turtles and Tortoise Society Journal. Vol. 3 No. 3 p. 32-34
12. **Lee, J.** 1996. The Amphibians and Reptiles of Yucatan Peninsula. Cornell University p. 149-151
13. **Melgar S.** del 2005 al 2008. comunicación personal sobre técnicas de análisis morfométrico. catedrático titular de Genética en la Universidad de San Carlos de Guatemala.
14. **Mittermeier R.** 1970. Turtles in Central American Markets. International Turtles and Tortoise Society Journal. Vol. 4 No. 5 p. 20-26
15. **Moll D.** 1989. Food and Feeding Behavior of the Turtle, *Dermatemys mawei*, in Belize, Journal of Herpetology, Vol 23, No. 4 p. 445-447
16. **Pizarro, F., Gómez, C., y Córdoba, R.** 2001. Humedales de Centroamérica: síntesis de veintisiete estudios e iniciativas sobre educación, investigación, manejo y conservación de humedales y zonas costeras. San José, C.R.: UICN / ORMA. Costa Rica. 100 p.
17. **Polisar, J y Horwich** 1994. Conservation of the Large Economically Important River Turtle *Dermatemys mawii* in Belice. Conservation Biology. Vol. 8 No. 2 p. 338-342
18. **Polisar, J.** 1995. River Turtle Reproductive Demography and Exploitation Patterns in Belize: Implications for Management. Vida Silvestre Neotropical. Vol. 4 No. 1 p. 10-19

19. **Quintana-Morales, Y.** 2005. 11 de Noviembre, comunicación personal sobre la presencia de *D. mawii* en Bocas del Polochic, según sus observaciones directas.
20. **Radachowsky J.** 2003. Landscape Species Selection for the Maya Biosphere Reserve. WCS internal document.
21. **Radachowsky J, R. García, M. Córdova, O. Aguirre, C. Marroquin, T. Dubón, F. Córdova, S. Funes, J. López, G. García, F. Oliva, G. Orellana, H. Tut, A. Manzaneros, C. Emilio, P. Hernandez.** 2004. Efectos Ecológicos del Aprovechamiento de Madera Certificada en las Concesiones Forestales en el Norte de Guatemala, En: Monitoreo de la Integridad Ecológica de la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. WCS, FIPA, USAID, CONAP. Flores, Petén, Guatemala, p 77
22. **Rohlf F. J.,** 2005 TPSdig © y TPSrelw ©
23. **Vásquez, C.** 2000. Los Humedales de Guatemala. Proyecto Humedales. Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. MUSHNAT/UICN – FCG. Guatemala. 29 p.
24. **Vogt R, y O. Flores Villela,** 1992a Aspectos de la ecología de la tortuga blanca (*Dermatemys mawii*) en la reserva de la Biosfera Montes Azules. *In:* Vásquez-Sánchez, M.A. y M.A. Ramos (eds.). Reserva de la biosfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su conservación. Publ. Esp. Exosfera 1:221231
25. **Vogt R. y O. Flores Villela,** 1992b Effects of incubation temperatura on sex determination in a community of neotropical freshwater turtles in southern Mexico, *Herpetologica* Vol. 48 No. p 265-270

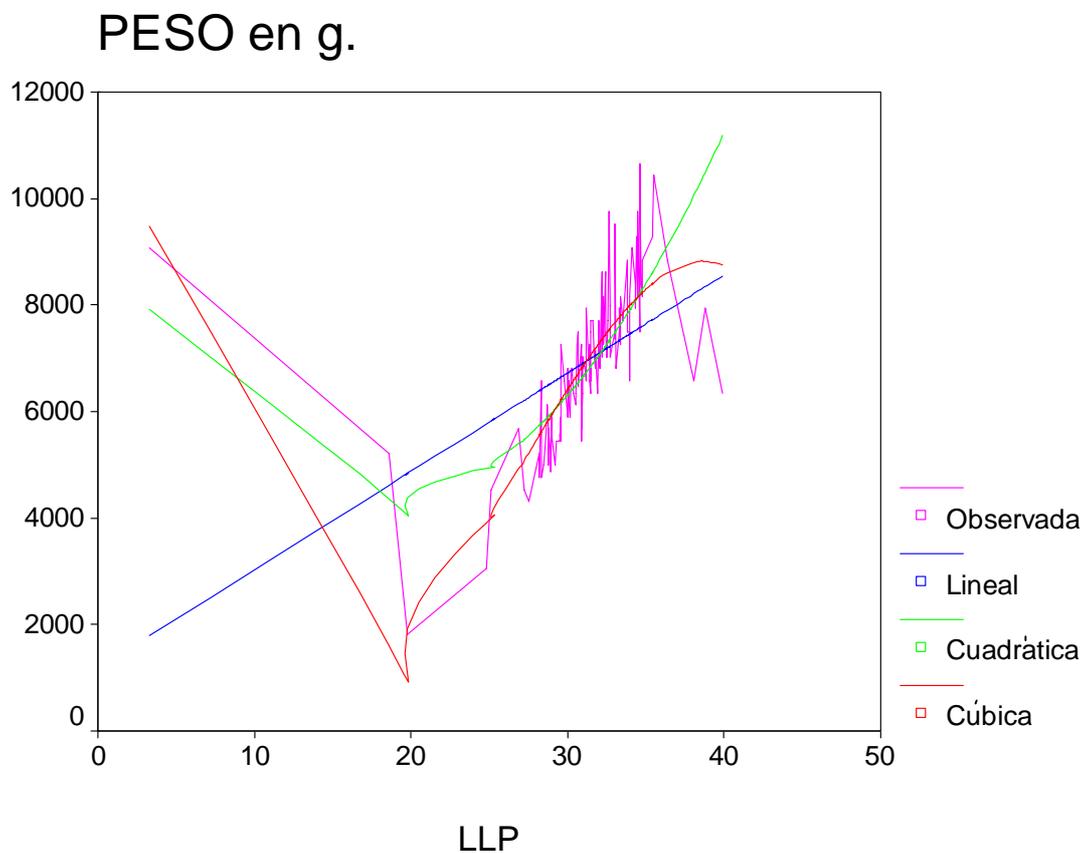
26. **Zelditch M., Swiderski D., Sheets H. y Fink W.** 2004 Geometric Morphometrics for Biologists. Elsevier. p. 443

13. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de Componentes Principales -ACP- de las distancias entre puntos de tortugas blancas provenientes de la granja de cultivo del gobierno de Tabasco, México, separadas por rangos de tamaños utilizando el largo lineal del plastrón -LLP- como medida indicadora de edad. Rojo individuos con plastrón de: 0-10 cm. azul: 10.01-20 cm. rosado: 20.01-30 cm. verde: 30.01-40 cm. Se restó la primera y segunda variable isométrica.

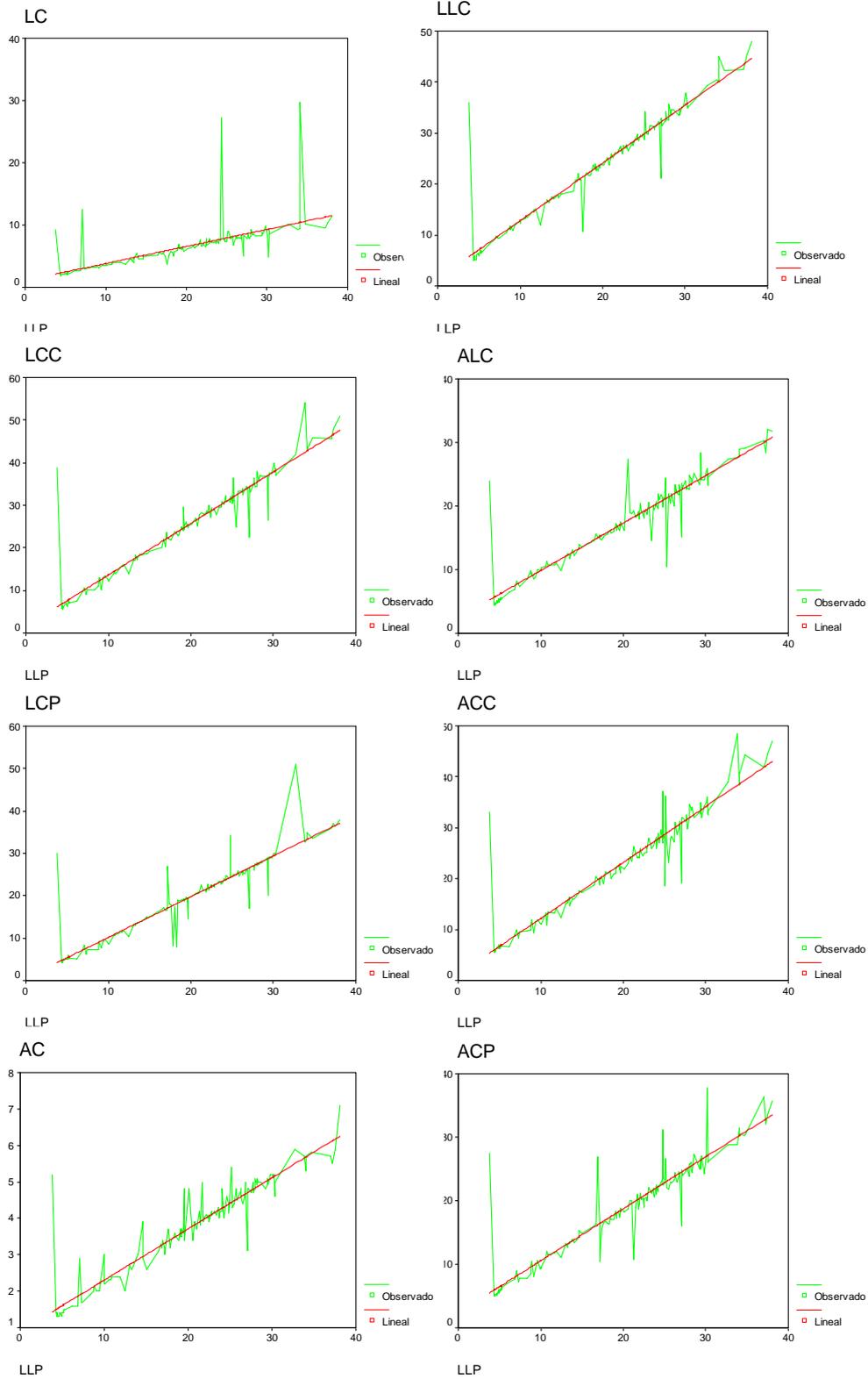


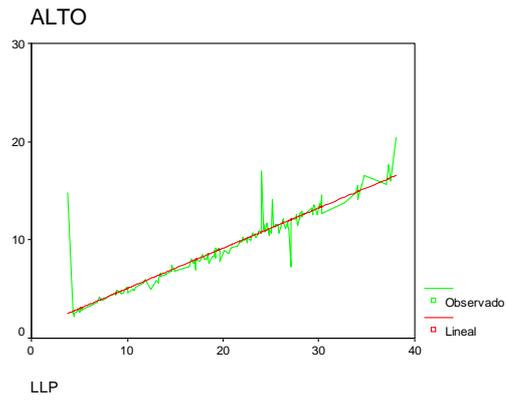
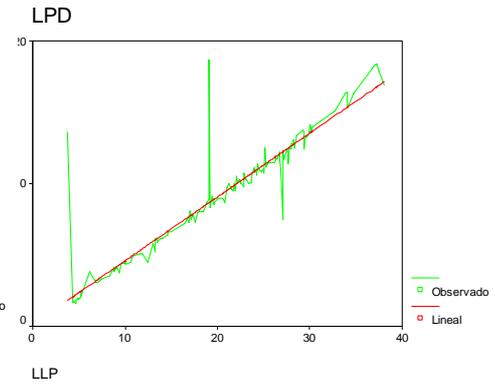
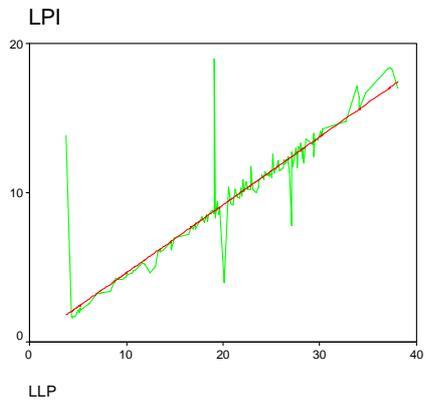
Anexo 2: Curvas y regresiones para el peso en gramos y el largo lineal del plastrón -LLP- para tortugas provenientes del área de la Laguna El Perú (Laguna el Perú y Río San Pedro).



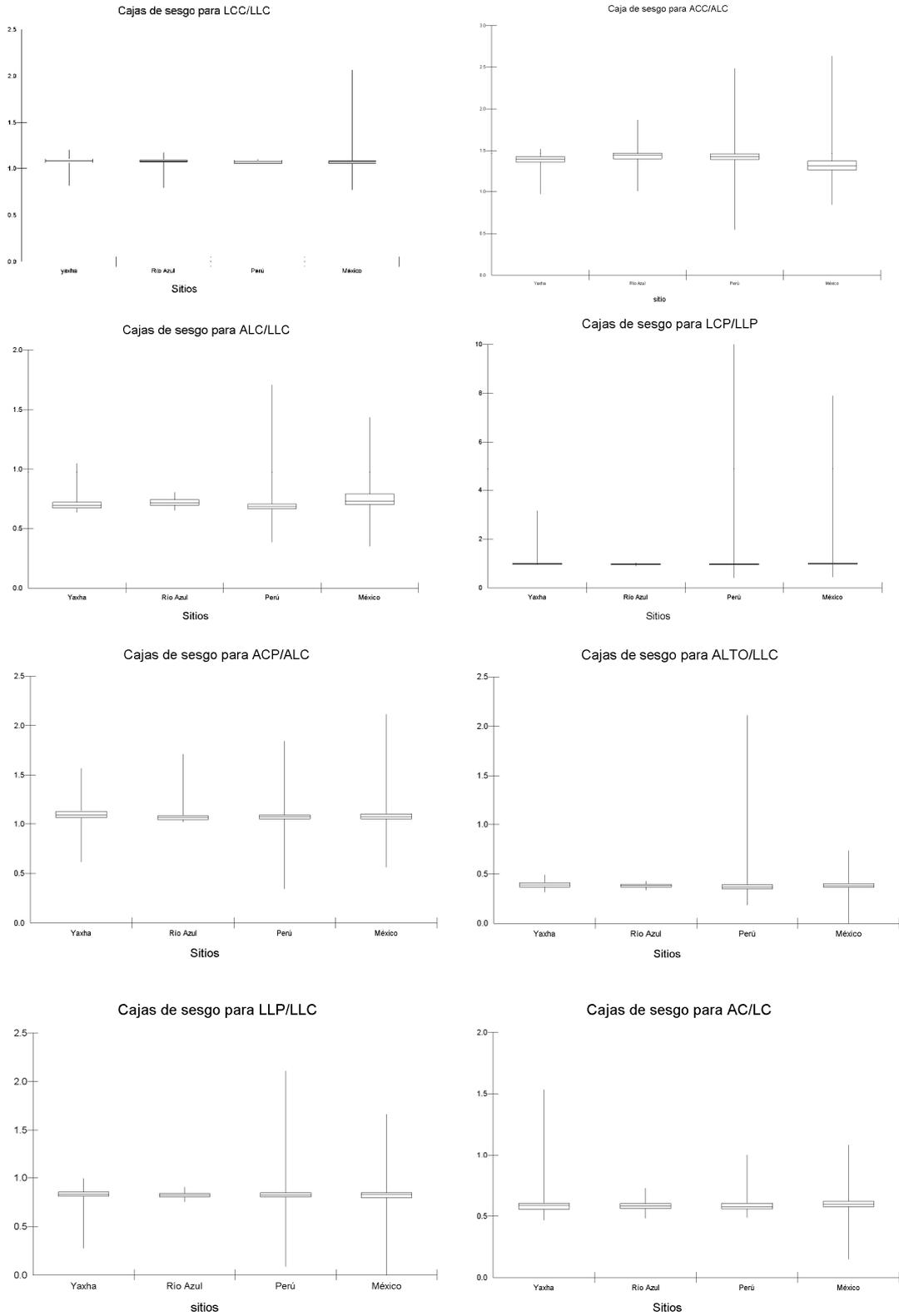
| Variable independiente: LLP | | | | |
|-----------------------------|----------------|--------------------|-------|---------------|
| Variable dependiente: Peso | | | | |
| Método | R ² | Grados de libertad | F | significancia |
| Lineal | 0.239 | 130 | 40.92 | p<0.001 |
| Cuadrático | 0.533 | 129 | 73.59 | p<0.001 |
| Cúbico | 0.656 | 128 | 81.45 | p<0.001 |

Anexo 3: Curvas de regresión lineal entre las medidas tomadas de campo y el largo lineal de plastrón -LLP-, como medida de edad y tamaño, en tortugas en cautiverio en la granja del estado de Tabasco, México.





Anexo 4: Gráficas de cajas de sesgo para las proporciones medidas del caparazón y cabeza de tortuga blanca, comparando sitios.



Anexo 5: fotografías de campo.



Individuo macho capturado en Laguna Yaxha



Espécimen capturado en Río Azul



Instalaciones de CONAP en Río Azul



Tomando datos de un individuo capturado en Río Azul



Colocación de trasmallos en Río Sarstún.



Artesanía fabricada con un caparazón de Tortuga Hicotea (*Trakemis scripta*) en una tienda del mercado en Livinstong, Izabal.



Ayudando en la colocación de chips de identificación a las tortugas de la granja del gobierno de Tabasco, México.



Neonatos de la granja del gobierno de Tabasco, México



Tortuga hicotea capturada en laguna Yaxha.



Liberación de una tortuga capturada en Laguna Yaxha.



Especimen de tortuga blanca depositado en el Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Liberando tortuga en Laguna Salpetén.



Revisando trasmallo en Laguna el Picú por especímenes capturados.



Tortuga blanca en laguna Yaxha.



Especimen de tortuga tres quíllas capturado en Río San Pedro



Realizando toma de medidas en tortugas capturadas en Río San Pedro.



Aprendiendo a tejer trasmallos tortugueros.



Soldado del ejército de Guatemala liberando una tortuga hicotea en Laguna Sacnab, Yaxha.



Tomando datos de una tortuga blanca capturada en Laguna Salpetén.



Liberando una tortuga tres quillas del trasmallo donde fue capturada en Laguna Sacnab, Yaxha.



Pesando tortuga capturada en laguna Sacnab, Yaxha.



Revisando trasmallo por tortugas capturadas en Laguna Sacnab, Yaxha.



Caparazón de tortuga blanca en el Museo de Estanzuela, Zacapa.



Cocodrilo después de haber atravesado y roto el trasmallo tortuguero en Laguna El Perú.



Saliendo a revisar trasmallos en el Río San Pedro



Niño de la comunidad de Paso Caballos liberando una tortuga blanca en el Río San Pedro.



Obteniendo imágenes del caparazón de una tortuga blanca en el Río San Pedro

Antonio Diego Alejandro Juárez Sánchez
Autor

Licda. Yasmín Odette Nelisa Quintana Morales
Asesora

Lic. Julio Rafael Morales Álvarez
Revisor

Licda. Rosalito Barrios
Directora
Escuela de Biología

Ph. D. Oscar Manuel Cóbar Pinto
Decano
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia