



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**REVISIÓN TAXONÓMICA DE *Strongylura hubbsi*
COLLETTE, 1974 (TELEOSTEI: BELONIDAE) EN
CHIAPAS Y TABASCO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

ALEJANDRO ANTONIO AYALA ARRONTE



DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. HÉCTOR S. ESPINOSA PÉREZ

ASESOR INTERNO:

M. en C. ERNESTO MENDOZA VALLEJO

AGOSTO 2017

CIUDAD DE MÉXICO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"Hodie Labor, Cras Fructus"
Don Bosco.
Siempre alegres.

Agradecimientos

A la UNAM y a la FEZ Zaragoza, al formar profesionistas de calidad, contribuyen a nuestro crecimiento como nación, creo firmemente que todo desarrollo va ligado a la educación.

A la Colección Nacional de Peces IB-UNAM por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar este trabajo.

Al Doctor Nicolás Álvarez Pliego por su contribución con los organismos del estado de Tabasco.

A mi director de Tesis M. en C. Héctor Salvador Espinosa Pérez por permitirme trabajar en la CNPE y orientarme para realizar este trabajo.

A mi asesor interno M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo, su apoyo a lo largo del ciclo terminal de mi carrera así como sus aportaciones y guía fueron invaluable y me permitieron terminar de forma exitosa este ciclo.

A las Maestras María Beatriz Martínez Rosales y Yolanda Cortes Altamirano, además del apoyo académico me impulsaron y apoyaron a lo largo de toda la carrera.

A la M. en C. Catalina Machuca Rodríguez, por darme el reto más complicado a lo largo de mi carrera y el apoyo para superarlo.

A la M. en C. Verónica Mendoza Portillo por sus contribuciones y guía a lo largo de la elaboración de este trabajo.

A mis sinodales, Dr. Guillermo Artemio Blancas Arroyo, Dr. Manuel Arnoldo Castillo Rivera y M. en C. Gabriela Selene Ortiz Burgos, por el tiempo y conocimiento con el cual contribuyeron a mejorar la calidad y contenido de mi trabajo.

Trabajo realizado gracias al apoyo del programa UNAM-DGAPA- PAPIIME PE208216 y a la Alianza WWF, Fundación Carlos Slim y PEMEX.

Dedicatoria.

A Carlos Ayala Báez y Modesta Pérez Mastranzo. Por su infinito cariño, por enseñarme con el ejemplo lo que significa superarse, por esos momentos maravillosos que estuvieron a mi lado. Y porque donde quiera que estén, se que siempre me llevan de la mano como yo en mi corazón. Los quiero y los extraño muchísimo.

A mis padres, Carlos y María, cada triunfo, cada logro, cada victoria y cada alegría, les pertenecen tanto como a mí. Gracias por impulsarme y guiarme a buscar siempre el éxito. Lo logramos.

A Carla. Cuando les pedí a mis papas una hermanita, nunca imagine la gran bendición que llegaba a mi vida. Te quiero mucho chaparra.

A mi hermano Quetzal. No importa la distancia, estás conmigo siempre.

A Daniela, por el apoyo y comprensión, principalmente en los momentos mas difíciles. Por acompañarme y ser parte de mi vida. No tengo palabras suficientes para expresarte todo lo que eres para mí.

A Lucrecia y Daniel. Siempre he contado con ustedes, lo que soy en gran medida se lo debo al cariño que me brindaron. Gracias por todo.

A Marco, Liz, Alan y Alexis, su compañía para mi representa el significado verdadero de familia.

A mis amigos Carlos y Amairany, por compartir más que una carrera, por ser parte fundamental de mi desarrollo como profesionista, por apoyarme en cada momento que lo necesito, cuento con dos grandes y exitosas personas a quienes tengo el placer de llamar AMIGOS. Los quiero mucho, agradezco y valoro el tiempo que llevamos juntos y espero que sea mucho más.

Y como dijo mi padre, va por todos y cada uno de ustedes... Y va por mí.

Contenido

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. ANTECEDENTES	4
III. MARCO TEÓRICO.....	8
III.I. Datos primarios.....	9
III.II. Obtención de la información de forma pura.....	9
III.III. Análisis estadísticos.....	9
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	11
V. HIPÓTESIS.....	11
VI. OBJETIVOS	11
VII. MATERIAL Y MÉTODO	12
VII.I. Área de estudio.....	13
VII.II. Morfometría tradicional.....	16
VII.III. Morfometría geométrica.....	17
VII.III.i. Selección de Landmarks.....	17
VII.III.ii. Digitalización de los ejemplares.....	18
VII.III.iii. Análisis de morfometría geométrica.....	19
VIII. RESULTADOS	20
VIII.I. Morfometría tradicional.....	20
VIII.II. Morfometría geométrica.....	31
IX. DISCUSIÓN.....	40
X. CONCLUSIONES	45
XI. RECOMENDACIONES	46
XII. LITERATURA CITADA.....	47
XIII. ANEXO.....	51

RESUMEN

Strongylura hubbsi Collette 1974, es una especie dulceacuícola de la familia Belonidae, vicaria, endémica que se distribuye en el sureste mexicano y el norte de Guatemala. La especie se describió en 1974 y a partir de su descripción no se encuentran más reportes sobre sus hábitos, biología o taxonomía. El objetivo de este estudio fue realizar una revisión taxonómica que evalúe las diferencias morfométricas de *Strongylura hubbsi* de los estados de Chiapas (sur) y Tabasco (norte). Para cumplir este objetivo se evaluaron 54 organismos correspondientes a la especie utilizando morfometría tradicional y morfometría geométrica. Se les realizaron pruebas estadísticas que dieron como resultado cinco medidas y caracteres morfológicos significativamente diferentes, su mayor variación, en ambos casos se obtuvo por un porcentaje mayor al 65% acumulado en los primeros tres componentes. Además se utilizó un análisis de función discriminante para determinar las diferencias de la forma entre los organismos de cada grupo y un análisis de variables canónicas para determinar las diferencias al interior de cada grupo. Los resultados fueron significativos, lo que permite proponer la presencia de más de una forma de la especie en la zona, relacionado posiblemente a especiación por aislamiento geográfico. El uso de técnicas de morfología tradicional y geométrica aporta nueva información para la taxonomía del grupo.

ABSTRACT

Strongylura hubbsi Collette 1974, is a vicarius, endemic, freshwater species of the Belonidae family, distributed in the Mexican southeast and the north of Guatemala. It was described in 1974 and since its description there are no more reports on its habits, biology or taxonomy. The purpose of this study was to perform a taxonomic review to evaluate the morphometric differences inside *Strongylura hubbsi* from the states of Chiapas (south) and Tabasco (north). To meet this purpose, 54 organisms were evaluated by traditional and geometric morphometry. Statistical tests were resulted in five meaningful measurements and morphological characters, both cases obtained a variation percentage greater than 65% accumulated in the first three components. In addition, a discriminant function analysis was used to determine the shape differences between the organisms in each group and canonical variables analysis to determine the differences inside each group. Results were meaningful, it suggesting the presence of more than one shape inside the species in the area, possibly specied by geographic isolation. The use of traditional and geometric morphology techniques provides new information for the group taxonomy.

Palabras clave: *Strongylura hubbsi*, morfometría, vicario, Chiapas, Tabasco.

I. INTRODUCCIÓN

Los peces son el grupo de vertebrados más abundante y diverso en el planeta, con aproximadamente 27,977 especies descritas en el mundo, lo que representa actualmente poco más de la mitad de todos los vertebrados (Eschmeyer, 2010). Estos organismos se distribuyen en la mayoría de los ambientes acuáticos marinos, estuarinos y dulceacuícolas, llegando a tolerar cambios de salinidad y otros parámetros fisicoquímicos. Además sus formas y adaptaciones varían según el medio, pudiendo encontrar organismos filogenéticamente muy cercanos, con estructuras morfológicas completamente diferentes, así como organismos que parecen muy semejantes cuyos linajes no presentan relación cercana. México como país mega-diverso posee el 10.7% del total de los peces conocidos en el mundo (Del Moral, 2016).

Belonidae es una familia de peces teleósteos, contiene 10 géneros y 47 especies (Nelson *et al.*, 2016), la mayoría son marinas aunque existen algunas dulceacuícolas como *Strongylura hubbsi*, especie vicaria (origen marino) que se distribuye en aguas dulces de Guatemala y el sureste de México. Collette (1974), describe a la especie estableciendo las diferencias con las especies marinas principalmente *S. notata* y *S. marina*. A partir de la descripción de la especie solo se encuentran referencias en catálogos e inventarios ictiofaunísticos que no consideran la biología, taxonomía o ecología de la especie. El uso de claves taxonómicas permite identificar a los organismos de la especie, sin embargo se observan variaciones cuando se trata de especímenes correspondientes a la parte norte o sur de la cuenca Grijalva-Usumacinta, lo que genera preguntas sobre si existe variación interespecífica.

Según la Comisión Nacional del Agua (2014), la cuenca de Grijalva-Usumacinta nace en la República de Guatemala y cruza los estados del sureste mexicano, Chiapas, Tabasco, una parte del estado de Campeche, y una pequeña porción de los estados de Oaxaca y Veracruz, la orografía, donde la cantidad de climas y el aislamiento observado en la región son causa de endemismos y gran diversidad. Este trabajo se realizó para evaluar y comparar los organismos de *Strongylura hubbsi* de las regiones norte y sur de los estados Chiapas y Tabasco. Considerando que los organismos son adaptativos según el medio en el que se distribuyen y el hecho de que las especies estén en constantes procesos de diversificación, se evalúan las diferencias observadas al momento de determinar e identificar a la especie, por lo cual se formuló la pregunta ¿Existe variación morfométrica significativa entre las distintas poblaciones de *S. hubbsi* en el sureste mexicano para constituir una especie diferente?

Además pretende descartar la atribución de plasticidad fenotípica a las diferencias entre los organismos de Chiapas y Tabasco. Dicha plasticidad se define como la “capacidad de los organismos de una localidad particular para que el genotipo de los individuos produzca distintos fenotipos consecuencia de los factores bióticos y abióticos particulares” (Pigliucci, 2001). Esta plasticidad en general permite a los organismos que la presentan una mejor adecuación a los factores bióticos y abióticos del medio que lo rodea.

El proyecto de investigación consta de dos fases, morfometría tradicional y morfometría geométrica, los procedimientos y características de cada uno permiten evaluar las diferencias de forma estadística, analizarlas y compararlas. Se discuten, después de realizar cada uno de los análisis, las diferencias encontradas en las poblaciones sureñas y norteñas, comparadas con una especie externa del mismo género de origen marino.

II. ANTECEDENTES

Del Moral (2016) menciona 3 509 especies de peces descritas para México, lo que representa un 10.7% del total mundial; de éstas, poco más de 500 habitan ambientes dulceacuícolas. A nivel de órdenes, en México se ven representados 53 de los 62 (Espinosa-Pérez, 2014) conocidos en la actualidad. Tal diversidad en el país, se puede explicar principalmente por tres razones: existe en el territorio una topografía muy variada debido a una historia geológica larga y cambiante, un amplio intervalo latitudinal en el que se presenta una conjunción de la región neártica y neotropical y se encuentra situado entre los océanos Atlántico y Pacífico (Espinosa-Pérez, 2014).

Existen diversas clasificaciones de peces, considerando el medio en que se desenvuelven y los sistemas en los que se desarrollan. Myers (1949) propone seis niveles de organismos: Primarios, secundarios, diádromos, Vicarios, Esporádicos y Complementarios. En este estudio se le da importancia al componente vicario, el termino es acuñado por Myers (1938) incluye a las especies de origen marino que actualmente se encuentran restringidas a ambientes dulceacuícolas. Castro-Aguirre *et al.* (1999) proponen que la falta de competencia o la escasa ictiofauna primaria, aunados a factores geológicos, fueron suficientes para generar especies nuevas que se encuentran bajo condiciones limnéticas sin capacidad de osmorregulación en ambientes marinos. También se menciona que suelen ser familias marinas representativas que residen de forma fija en agua dulce, muchos de estos diversificando hasta formar nuevos géneros y especies (Myers, 1949). Es importante mantener un monitoreo constante de los organismos de este componente puesto que poseen una historia de especiación y la capacidad de continuar ese proceso.

Los Beloniformes son un orden de peces teleósteos que se caracterizan por presentar forma hidrodinámica, cuerpos alargados y ágiles; osteológicamente presentan de 4 a 15 briaquiespinas, mandíbulas superiores no protrusibles, cartílago interarcual pequeño y en muchos casos ausente, segundo faringobranquial en orientación vertical y parietales pequeños o ausentes, y a nivel la aleta el lóbulo inferior con más radios que el lóbulo superior (Rosen y Parenti, 1981) y línea lateral en tonos plateados. Suelen vivir cerca de la superficie, se alimentan de plancton, pequeños peces e invertebrados. La mayor parte de especies son marinas, aunque algunas especies vivan en áreas salobres y dulces (Fisher *et al.*, 1995).

El orden se compone de dos subórdenes: Adrianichthyoidei y Belonoidei; seis familias: Belonidae, Hemiramphidae, Zenarchopteridae, Exocoetidae, Scomberesocidae y Adrianichthyidae; 34 géneros y 283 especies, de las cuales aproximadamente 98 son tolerantes al agua dulce, siendo dominantes en la región epipelágica de los trópicos y subtropicos (Nelson *et al.*, 2016).

El suborden Belonoidei, de acuerdo a Rosen y Parenti (1981), incluye dos superfamilias y cinco familias, se caracterizan por tener la línea lateral baja, a lo largo del margen ventral del cuerpo, narina simple y sin espinas en las aletas. Las aletas dorsal y anal están situadas en la parte posterior del cuerpo, la aleta pectoral con inserción alta en el cuerpo en la mayoría de los organismos, la pélvica en posición abdominal. Las especies de este suborden presentan la mandíbula inferior elongada en algún punto de su desarrollo, por lo que sus relaciones filogenéticas están en constante estudio (Lovejoy, 2000).

La superfamilia Scomberesocoide tiene escamas pequeñas, pueden ir desde de 70 a más de 350 en la línea lateral, mandíbulas largas y elongadas con canal premaxilar y comprende dos familias, doce géneros y 51 especies (Nelson *et al.*, 2016).

La familia Belonidae presenta como caracteres diagnósticos: tamaño pequeño hasta dos metros de longitud total, cuerpos elongados. La cabeza presenta las mandíbulas superior e inferior extendidas formando picos largos con dientes caniformes; las narinas están situadas en posición anterior a los ojos. Sin espinas en las aletas; las aletas anal y dorsal en posición posterior; aletas pélvicas en posición abdominal con 6 radios blandos; aletas pectorales cortas. La línea lateral se extiende desde debajo del origen de la aleta pectoral y a lo largo del margen ventral del cuerpo. Escamas pequeñas cicloideas (lisas) fácilmente desprendibles, con coloración verde o azul en la zona dorsal, blanco-plateado en los lados y el vientre. En ocasiones presentan una franja azul oscura o negra a lo largo del cuerpo, quijada frecuentemente rojo o naranja. La mayoría de las especies son marinas aunque existen algunas dulceacuícolas. Son depredadores, se alimentan en gran medida de pequeños peces. Los huevos tienen zarcillos que sirven como anclas entre ellos y a objetos en el agua (Fisher *et al.*, 1995).

Belonidae contiene 10 géneros y 47 especies (Nelson *et al.*, 2016), *Platybelone* presenta cuatro especies de amplia distribución, *Belone* se distribuye en el Atlántico del este y está representado por tres especies, *Tylosurus* con diez especies de amplia distribución, *Belonion* (dos especies), *Potamorhaphis* (cuatro especies), y una de las dos especies de *Pseudotylosurus* son endémicas de ríos de Sudamérica (Lovejoy, 2000), dos géneros monotípicos: *Petalichthys* de África

del sur y *Ablennes* de amplia distribución, *Xenetodon* presenta dos especies endémicas de ríos del sureste asiático (Collette, 2003). La gran mayoría de especies en la familia son marinas aunque existen algunas dulceacuícolas, Castro-Aguirre *et al.* (1999) mencionan a éstas como especies vicarias.

El género *Strongylura* Van Hasselt, 1824 contiene 14 especies, generalmente marinas, algunas estuarinas y otras estrictamente dulceacuícolas; dos se encuentran en América Central y América del Sur, *S. fluviatilis* de Ecuador y Colombia y *S. hubbsi* de México y Guatemala. Cinco especies se consideran politípicas, conteniendo un total de 17 subespecies (Collette, 1970).

Strongylura hubbsi Collette, 1974 anteriormente se le confundía con especies marinas o estuarinas que también suelen ingresar en aguas continentales como son *Strongylura marina* o *Strongylura notata*. Se diferencia de otras especies de *Strongylura* del nuevo mundo en que mayor cantidad de vertebras (64-68) que *S. notata*, pero menos que *S. marina* y *S. timucu*. Tiene muchas escamas predorsales (216-293), mayor cantidad de radios en la aleta anal (16-19), un pigmento lateral extendido por lo menos a todo lo largo de la línea lateral, dándole una apariencia muy oscura, presenta cuerpo pequeño que las especies marinas y mayor tamaño en proporción de las aletas pectoral y pélvica. (Collette, 1974).

Desde su descripción se encuentran pocos estudios sobre la sistemática de la especie o su relación con otras poblaciones a lo largo del continente, sin embargo Lovejoy y Collette (2001) y Lovejoy *et al.* (2004) incluyen una población del río Usumacinta para realizar un análisis filogenético por métodos moleculares de la familia Belontiidae en América. En estos estudios solo se hace referencia a su posición respecto a los demás miembros de la familia, sin tomar en cuenta más poblaciones de la especie. Banford *et al.* (2004), mediante estudios genéticos, comparan una muestra de *S. hubbsi* del Usumacinta con el resto de la familia que habita el continente, y lo relaciona como grupo hermano de *S. exilis* y *S. marina*, separándolos de *S. scapularis* y *S. fluviatilis*. También observan que el origen de *S. hubbsi* data del mioceno y es parte de una de las dos invasiones que tuvo el género hacia aguas dulces, *S. fluviatilis* es parte de la segunda invasión. Las otras referencias que se pueden encontrar de la especie están relacionadas a catálogos, como Lozano-Vilano *et al.* (2007) que menciona que la identificación de los organismos es deficiente, constantemente se confunde con *S. notata*, y por lo tanto no se conoce el conteo real para incluirlo en catálogos de la zona. También Castro-Aguirre *et al.* (1999), la describen como una especie restringida a los ambientes limnéticos y mencionan que todos los aspectos de su biología son desconocidos; sólo algunos aspectos de su entorno se mencionan en la

descripción. También hace referencia a que *S. hubbsi* es parte del componente vicario (Myers, 1966).

La localidad tipo de los organismos que se citan en la descripción es Río de la Pasión, El Peten, Guatemala. Los estudios posteriores asumen que las poblaciones del sureste mexicano son similares a las de la zona estudiada.

III. MARCO TEÓRICO

El trabajo se realizó buscando cumplir con uno de los objetivos principales de la biología, la descripción de los organismos a partir de la anatomía y morfología. La morfología tradicional como estudio parte del análisis anatómico y cualitativo de los organismos, posteriormente la morfometría geométrica surgió en el siglo XX con la incorporación de estudios cuantitativos. Bookstein (1991) define la morfometría como “el estudio cuantitativo de la variación de las formas biológicas” que se complementa con la definición de forma de Kendall (1977): “toda la información geométrica que resulta de retirar los efectos de la posición, escala y rotación de un objeto”.

Las evaluaciones cuantitativas que se expresan como un conjunto de coeficientes y gráficas a través de los cuales se interpretan las variaciones de tamaño y forma se les llama actualmente morfometría tradicional (Zeldicht *et al.*, 2004), ésta se basa en factores lineales como medidas longitudinales y elementos que en ocasiones carecen de precisión o riqueza de los datos geométricos.

La morfometría geométrica, descrita como “una fusión empírica de la geometría con la biología” (Bookstein, 1982), se considera un complemento que equilibra las dificultades y limitaciones de la morfometría tradicional, que a su vez analiza la forma de los organismos o de alguna de sus estructuras, considerando el espacio geométrico y empleando métodos estadísticos multivariados. Esto es posible gracias a la aplicación de técnicas biométricas, instrumentos y programas computacionales que permiten la captura y análisis de datos en forma de matrices de morfocoordenadas o que representan la geometría de un espécimen.

La morfometría geométrica es entonces el estudio de la covariación de la forma con factores subyacentes. Su desarrollo en las últimas décadas ha alcanzado áreas de la biología tradicionalmente dedicadas al estudio descriptivo, como las ciencias morfológicas, las que con las nuevas herramientas han logrado no sólo hacer objetiva la evaluación cuantitativa de los cambios sino también la evaluación cualitativa a través de la recuperación de la forma en estudio (Toro *et al.*, 2010). Todo lo anterior permite entonces definir la morfometría geométrica como: el estudio de la variación de las conformaciones biológicas y su covariación con otras variables (Adams *et al.*, 2004; Rohlf y Marcus, 1993).

Esta técnica, a diferencia de la morfometría tradicional, conserva la posición espacial relativa de los puntos anatómicos, cuya unión da la configuración geométrica de los organismos, describiendo así al organismo en términos de la

relación espacial entre sus partes y no por sus dimensiones, para así lograr una comparación cuantitativa entre las formas (Toro *et al.*, 2010).

En morfometría geométrica el análisis se divide en tres etapas fundamentales: obtención de los datos primarios, obtención de las variables de la forma, y análisis estadísticos (Jaramillo, 2011).

III.I. Datos primarios.

Los datos primarios utilizados para el análisis corresponden a un conjunto de puntos o hitos representativos de una forma. Un hito o landmark es un punto específico localizado en una estructura biológica o una imagen de esta, que tiene un nombre y coordenadas cartesianas en formas bidimensionales (x, y) o tridimensionales (x, y, z); que son las que describen su posición en el espacio (Bookstein, 1991). Estos puntos son seleccionados por importancia biológica, adaptativa, taxonómica y filogenética y deben reflejar ancestría común (homologías).

III.II. Obtención de la forma pura.

Procedimientos geométricos basados en la definición misma de forma que nos ayudan a retirar los efectos de escala, posición y rotación se fundamenta en la superposición de cada individuo a una configuración consenso, lo que resume toda la variación geométrica que aparece en la muestra.

III.III. Análisis estadísticos.

Se pueden realizar análisis multivariados para detectar grupos, verificar hipótesis o comparar las variaciones de las conformaciones medias entre ellos, estos análisis se dividen a grandes rasgos en dos; los que consideran la muestra total como un grupo único y los que utilizan grupos definidos a priori.

Los diagrama de caja son un tipo de gráfico que nos permite interpretar los datos para las variables, a través de cuál podemos observar cuartiles, valores mínimo y máximo, mediana y los valores atípicos, este gráfico permite observar la distribución de una variable de escala y una serie de valores que proporcionan información bastante completa sobre el grado de dispersión de los datos y el grado de asimetría de la distribución (Palladino, 2011).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica multivariada que permite el tratamiento conjunto de las variables observadas reduciendo así el número de datos, y consiguiendo identificar un grupo de variables ficticias, llamadas componentes, formadas a partir de la combinación de las anteriores observadas. De esta forma podremos sintetizar los datos y relacionarlos entre sí (Bernal *et al.*, 2005).

El Análisis Discriminante es una técnica estadística multivariada cuya finalidad es analizar si existen diferencias significativas entre grupos de objetos respecto a un conjunto de variables medidas sobre los mismos para, en el caso de que existan, explicar en qué sentido se dan y facilitar procedimientos de clasificación sistemática de nuevas observaciones de origen desconocido en uno de los grupos analizados (De la Fuente, 2011)

La aplicación de morfometría geométrica en diferentes grupos de peces como Characidae por Ruiz *et al.* (2011) y posteriormente por Sepúlveda (2012), Cichlidae (Soria-Barreto *et al.*, 2011) y Poeciliidae (García, 2013), ha demostrado su utilidad al llevar a un concepto demostrable en porcentajes de cambio entre los organismos por medio de distintas pruebas biométricas desarrolladas. El concepto de especie que se considera válido para el trabajo es el tipológico propuesto por Mayr en 1991: Una especie tipológica es una entidad que se diferencia de otras especies por características diagnosticas constantes.

Este concepto utiliza caracteres morfológicos que sirven como división entre las especies, además obedece criterios de clasificación práctica que se ajustan a los requerimientos y funciones descritas en los trabajos de morfometría tradicional y geométrica.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe variación morfométrica significativa entre las poblaciones de *Strongylura hubbsi* del sureste de Mexico en la cuenca del Grijalva-Usumacinta?

V. HIPÓTESIS

H0. Si los organismos de *Strongylura hubbsi* de los estados de Chiapas y Tabasco no presentan diferencias significativas son una sola especie que tiene alta plasticidad fenotípica.

Ha. Si los organismos de *Strongylura hubbsi* presentan características morfométricas significativamente diferentes, entonces los de Chiapas y Tabasco pertenecerán a mas de una especie.

VI. OBJETIVOS

General

Realizar una revisión taxonómica que evalúe las diferencias morfométricas de *Strongylura hubbsi* de los estados de Chiapas y Tabasco.

Particulares

Evaluar la variación interpoblacional de *Strongylura hubbsi* de los organismos de Chiapas y Tabasco.

Comparar las poblaciones entre sí y con una especie cercana como grupo externo además de las referencias bibliográficas disponibles.

VII. MATERIAL Y MÉTODO

Para este estudio se revisaron y determinaron los cuarenta y cuatro organismos que hasta el día 30 de julio del 2016 componían el total de la Colección Nacional de Peces del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México que estaban catalogados como *Strongylura hubbsi*, para la determinación se usó la clave de Miller *et al.* (2005).

Posteriormente se contacto a la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, para solicitar organismos de la especie, colaboraron con fotografías de diez especímenes colectados en el estado de Tabasco, éstas se incluyeron en el estudio.

Con el objetivo de introducir un grupo externo que sea auxiliar en el estudio para polarizar las pruebas se escogió *Strongylura notata*, especie que según Lovejoy y Collette (2001) es morfológicamente la más lejana dentro del género.

El material corresponde en su totalidad a organismos del sureste mexicano específicamente a las localidades de Arroyo San Pablo, Corregidora Ortiz, Río Lacantún, Laguna Colorada, Macayo (primera y tercera Sección), Río Puerto Rico, Río Manzanares, Río Tzendales, Río Miranda, Río Lagartos, Humedal Lacanjá, Río Ixcan y Río Chajul en el estado de Chiapas y las localidades de Plátano y Cacao, Buenavista, Lázaro Cárdenas, Rompido, Campo SEN, Río Samaria, Laguna el Sauzo, Laguna Concepción, Laguna Cantemoc, Laguna Larga, Laguna San José, Río Pichucalco, Río Samaria, Río Grijalva, Laguna el Viento y Laguna Larga del estado de Tabasco. (Anexo 1)

Los organismos corresponden también en su totalidad a la cuenca del Grijalva-Usumacinta los de la parte norte se denominan “Tabasco” y la parte sur “Chiapas”.

Una vez que se determinaron los especímenes, se revisó la descripción original. La morfología y taxonomía del género y las estructuras de importancia para reconocer los caracteres de importancia taxonómica, en el género estas estructuras van en relación a la longitud del cuerpo y su relación con aletas y mandíbulas, conteo de radios y conteo de escamas, en cuanto a la especie van dirigidos en su mayoría hacia rasgos osteológicos, como el número de vertebras, sin embargo tras la revisión y determinación de los organismos se seleccionaron caracteres tanto morfológicos como puntos morfométricos de importancia y se seleccionaron las medidas a considerar.

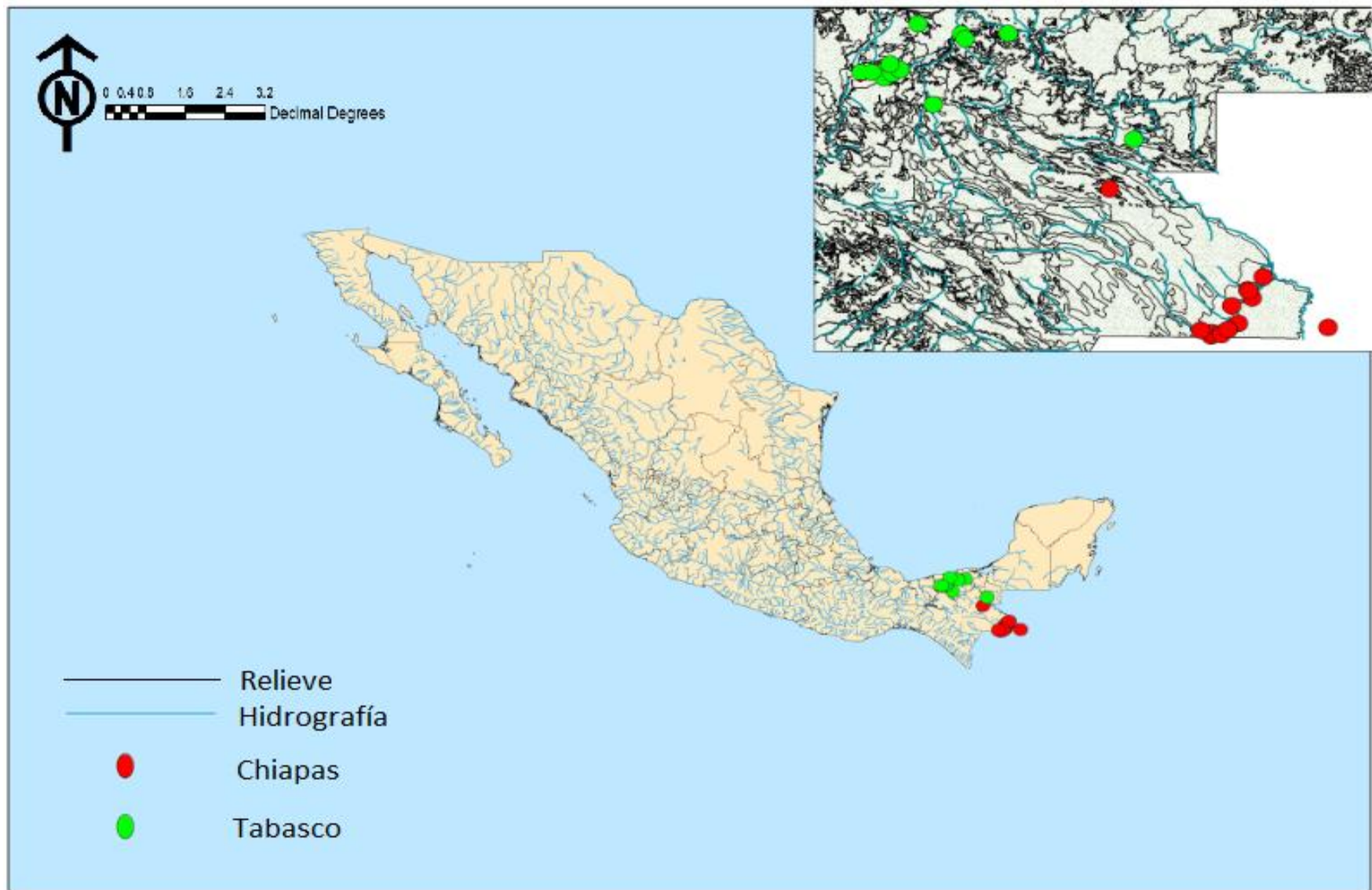
VII.I. Área de estudio.

La cuenca del río Grijalva-Usumacinta, es una cuenca transfronteriza, que nace en la República de Guatemala y cruza los estados de Chiapas y Tabasco, una parte menor del estado de Campeche y una pequeña porción de los estados de Oaxaca y Veracruz, está conformada por la Depresión Central, La Meseta Central, Montañas del Norte, del Oriente, La Planicie Costera del Golfo y Las tierras bajas Chapayal. Tiene una superficie aproximada de 131,157 (km²), de los cuales aproximadamente 52,600 (km²) corresponden a la subcuenca del Río Grijalva y 78,757 (km²) a la subcuenca del Río Usumacinta (CONAGUA, 2014).

El Grijalva comienza en la Depresión Central de Chiapas, cuenta con una extensa zona semiplana bordeada por la Sierra Madre, los Altos y las Montañas del Norte de Chiapas. En esta porción se presentan las mayores elevaciones de Chiapas como las serranías localizadas entre San Cristóbal de las Casas y Comitán, que alcanzan alturas superiores a los 2,700 (msnm), también se encuentra el cañón del sumidero. La máxima elevación se ubica hacia el sureste cerca de la frontera con la República de Guatemala y se extiende hasta la Sierra del Norte de Chiapas, donde la composición consta de una serie de serranías separadas por alargados valles que bordean a los Altos y las Montañas del Oriente. La disposición de las montañas permite interceptar la humedad que cargan los vientos del Golfo de México, lo que propicia un clima húmedo con lluvias todo el año (Ramos Hernández, 2014).

La cuenca del Río Usumacinta es la de mayor extensión y mayor desarrollo hidrológico del país. Esta cuenca abarca una superficie total de más de siete millones de hectáreas, una superficie equivalente a casi la de todo el estado de Chiapas, quedando el 58 % en territorio de Guatemala y el resto en México (Mapa 1). Dentro de la Cuenca del Usumacinta se ubica la región de la Selva Lacandona en México, y los Cuchumatanes, los Altos de Guatemala y una buena parte del Petén guatemalteco. De los aproximadamente 950 km lineales de la frontera sur de México que hacen contacto con Guatemala y Belice, más de la mitad (550 Km) se encuentran dentro de la cuenca del Usumacinta. Si tomamos la distancia del flujo hacia la desembocadura como una definición de cuenca alta y baja, resalta que en el caso del Usumacinta, importantes porciones de la cuenca alta se encuentran principalmente en Guatemala. La parte baja de la cuenca es casi exclusivamente mexicana, lo que implica que México es el que recibe en última instancia los impactos acumulados sobre la red hidrológica de los procesos de transformación y desarrollo que ocurran en el resto de la cuenca. La cuenca del Usumacinta tiene una impresionante red hidrológica resultado de ubicarse en una

de las regiones con más altos niveles de precipitación de toda Mesoamérica y por un relieve complejo sobre todo en las partes altas y medias en México, así como en las cabeceras en los Altos de Guatemala (March y Castro, 2010).



Mapa 1. Georreferencia de los organismos.

VII.II. Morfometría tradicional.

Para este estudio se tomaron medidas anatómicas basándose y adaptando las características que tanto Collette (1974) como Lovejoy (2000) hacen referencia a nivel morfológico.

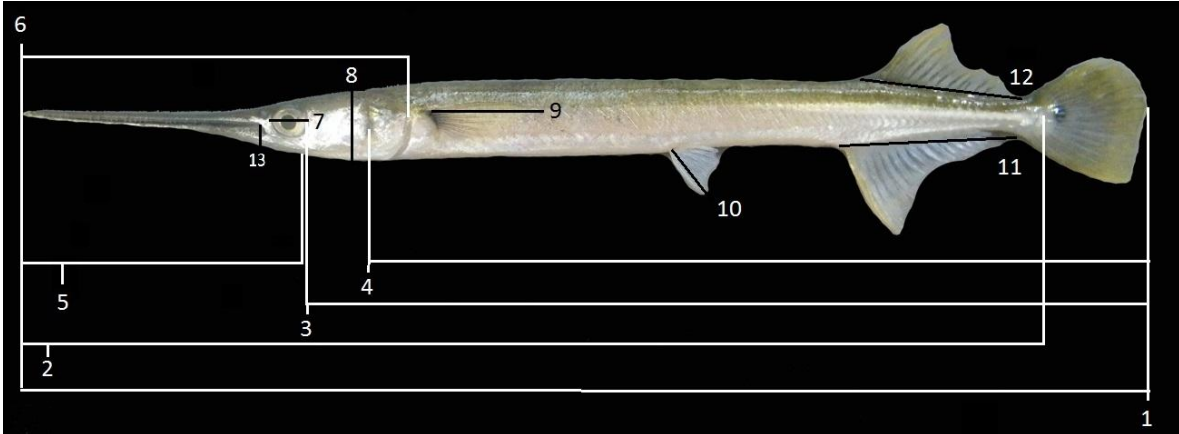


Figura 1. Medidas para el procedimiento de morfometría tradicional.

- 1) Longitud total (LT)
- 2) Longitud patrón (LP)
- 3) Distancia postorbital
- 4) Distancia postpreopercular
- 5) Longitud del hocico
- 6) Longitud cefálica
- 7) Diámetro del ojo
- 8) Altura de la cabeza
- 9) Longitud de la aleta pectoral
- 10) Longitud de la aleta pélvica
- 11) Longitud de la aleta anal
- 12) Longitud de la aleta dorsal
- 13) Altura de la mandíbula
- 14) Conteo de radios anales y dorsales

Para estandarizar el estudio y retirar el efecto de longitudes se trabajó con proporciones, estas se realizaron sobre la longitud patrón (LP) considerando los organismos que presentaban dañada la aleta caudal. Las proporciones fueron:

- M1) Longitud de la cabeza/ LP
- M2) Longitud del Hocico/ LP
- M3) Longitud de la aleta dorsal/ LP

- M4) Longitud de la aleta anal/ LP
- M5) Longitud de la aleta pectoral/ LP
- M6) Longitud de la aleta pélvica/ LP
- M7) Distancia postorbital/ LP
- M8) Distancia Postpreopercular/ LP
- M9) Altura de la mandíbula/ Altura de la cabeza
- M10) Diámetro del ojo/ LP
- M11) Número de radios dorsales
- M12) Número de radios anales

Las medidas se ingresaron en una tabla en el programa IBM SPSS Statistics 22, en este programa se realizó la estadística descriptiva de los grupos, también se realizaron los diagramas de caja comparando las medidas de las poblaciones, posteriormente se realizó el análisis univariado así como la matriz de correlación, también se aplicó la prueba *t* para los grupos. Una vez realizada la parte merística, se elaboró una tabla usando NT editor con los organismos de Chiapas, Tabasco y el grupo externo y se ingresaron en el programa NTSYSpc2.1 (Rohlf, 1992), en el programa se realizó el procedimiento de estandarización, se obtuvo una tabla de correlación para generar el análisis de componentes principales y con ellos los eigenvectores y los eigenvalores y se obtuvo la proyección y la matriz de puntos con la que se realizó el análisis.

VII.III. Morfometría geométrica.

Para este procedimiento la primera fase fue hacer una evaluación para seleccionar los landmarks, La selección de un conjunto adecuado de landmarks idealmente debe hacerse bajo los criterios de Zelditch *et al.* (2004) que son; Homología, consistencia en la posición relativa, cobertura adecuada de la forma, repetibilidad y coplanaridad.

VII.III.i. Selección de Landmarks.

Para el orden Beloniformes no se registran estudios previos de morfometría geométrica, por lo tanto para la selección de landmarks, se tomaron en cuenta las mediciones básicas para peces descritos por Hubbs y Lagler (1958), y se modificaron considerando las estructuras morfológicas revisadas por Collette (1974) en la descripción de la especie. Estos puntos se localizan principalmente en la cabeza y las mandíbulas. Estructuras que se pueden considerar homólogas y que se usan para identificación en organismos de todo el orden.

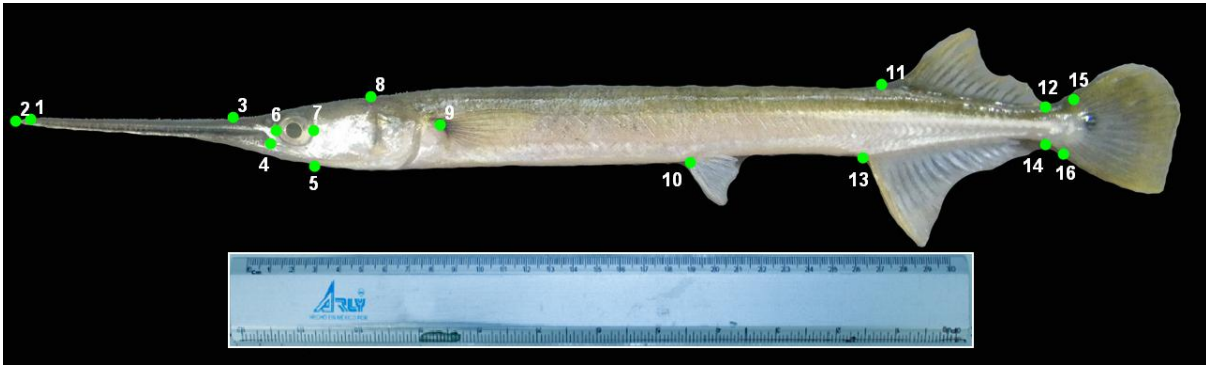


Figura 2. Localización de los Landmarks en un organismo.

- 1) Borde anterior e la maxila
- 2) Borde anterior de la mandíbula
- 3) Borde anterior del hueso maxilar
- 4) Borde inferior del hueso maxilar a la intersección con mandíbula
- 5) Intersección del opérculo con el preopérculo en vista lateral
- 6) Borde anterior del ojo a la altura de la narina
- 7) Borde posterior del ojo a la altura de la narina
- 8) Borde superior del cráneo a la altura del occipucio
- 9) Inserción de la aleta pectoral
- 10)Inserción de la aleta pélvica
- 11)Origen de la aleta dorsal
- 12)Borde posterior de la aleta dorsal
- 13)Origen de la aleta anal
- 14)Borde posterior de la aleta anal
- 15)Límite superior del pedúnculo caudal en la intersección con la aleta caudal
- 16)Límite inferior del pedúnculo caudal en la intersección con la aleta caudal

En el caso de las estructuras cuya posición no es tan clara o quedan cubiertas por otras estructuras, se marcó su posición con alfileres entomológicos.

VII.III.ii. Digitalización de los ejemplares.

Se generó una imagen por cada uno de los ejemplares trabajados, presentando también una escala para comparar. Para la toma de las imágenes se utilizó una cámara marca Canon modelo EO5 Rebel TL1 de 18 mega pixeles. Estas imágenes se ingresaron en el programa *tpsUtil* (Rohlf, 2004.) para convertirlas en un archivo de formato y terminación *.tps*, no se seleccionaron grupos *a priori*. Posteriormente los archivos fotográficos se ingresaron al programa *tpsDIG2* (Rohlf, 2004.), que al marcar los puntos, extrae las coordenadas de cada landmark expresándolas como una coordenada en un plano bidimensional (x, y) y añade el

número de landmarks así como su posición relativa en cada imagen como una lista en el archivo tps.

VII.III.iii. Análisis de morfometría geométrica

Una vez que se digitalizaron las imágenes en el programa tpsDIG2 (Rohlf, 2004.) los archivos se ingresaron al programa MorphoJ (Klingenber, 2011). En este programa se realiza un ajuste Procrustes, alineado por el eje principal para retirar los efectos de escala, posición y rotación. En el mismo programa se generó una matriz de covarianza, con la cual se lleva a cabo un análisis de componentes principales. Las gradillas de deformación en las que se observa el cambio de los organismos respecto a una forma patrón, se realizaron también un análisis discriminante con el que se trata de observar la pertenencia entre grupos comparados y un análisis de variables canónicas con el que se observan las diferencias entre grupos.

VIII. RESULTADOS

VIII.I. Morfometría tradicional

VIII.I.i. Análisis univariado

El análisis de la variabilidad morfológica entre las poblaciones de los estados de Chiapas con los de Tabasco se obtuvo por medio del análisis de 14 longitudes morfológicas tomadas del cuerpo de los organismos de acuerdo a las referencias para el grupo (Figura 1).

Como primer análisis exploratorio se obtuvieron los estadísticos descriptivos, éstos permiten observar el comportamiento del total de la muestra así como sus medidas de tendencia central y dispersión (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los organismos pertenecientes a Chiapas y Tabasco.

	N	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESV.EST.	VARIANZA
Cabeza/LP	54	32.417	42.241	37.85	2.161	4.674
Hocico/LP	54	20.879	33.455	29.003	2.246	6.096
Dorsal/LP	54	10.837	15.876	13.039	1.023	1.048
Anal/LP	54	12.315	17.18	14.55	0.922	0.851
Pectoral/LP	54	4.659	9.333	7.611	0.911	0.831
Pélvica/LP	54	2.155	5.66	3.879	0.627	0.394
T. Postpreorbital/LP	54	72	83.962	77.285	2.541	6.458
T. Postpreopercular/LP	54	67.567	80	72.78	2.561	6.561
D. Mandíbula/Prof. Cabeza	54	15	47.5	32.085	5.754	33.112
Díametro del ojo/LP	54	2.293	4.014	3.308	0.32	0.103
Radios dorsales	54	14	17	15.35	0.705	0.497
Radios anales	54	15	19	17.06	1.089	1.186

Estos análisis se realizaron con los organismos pertenecientes a los estados de Chiapas (33) y Tabasco (21) Respecto al grupo externo, que corresponde a *S. notata* se utilizó únicamente con el fin de polarizar los datos, por lo tanto no se incluyó en los análisis exploratorios.

La tabla 1 se utiliza solo con fines de observar las medidas de tendencia central y de dispersión, se hace con todas las medidas para comparar las tendencias.

Posteriormente se obtuvieron los diagramas de caja, que permiten observar el comportamiento de las medias y valores de dispersión en los grupos y compararlos entre sí (Figuras 3-6).

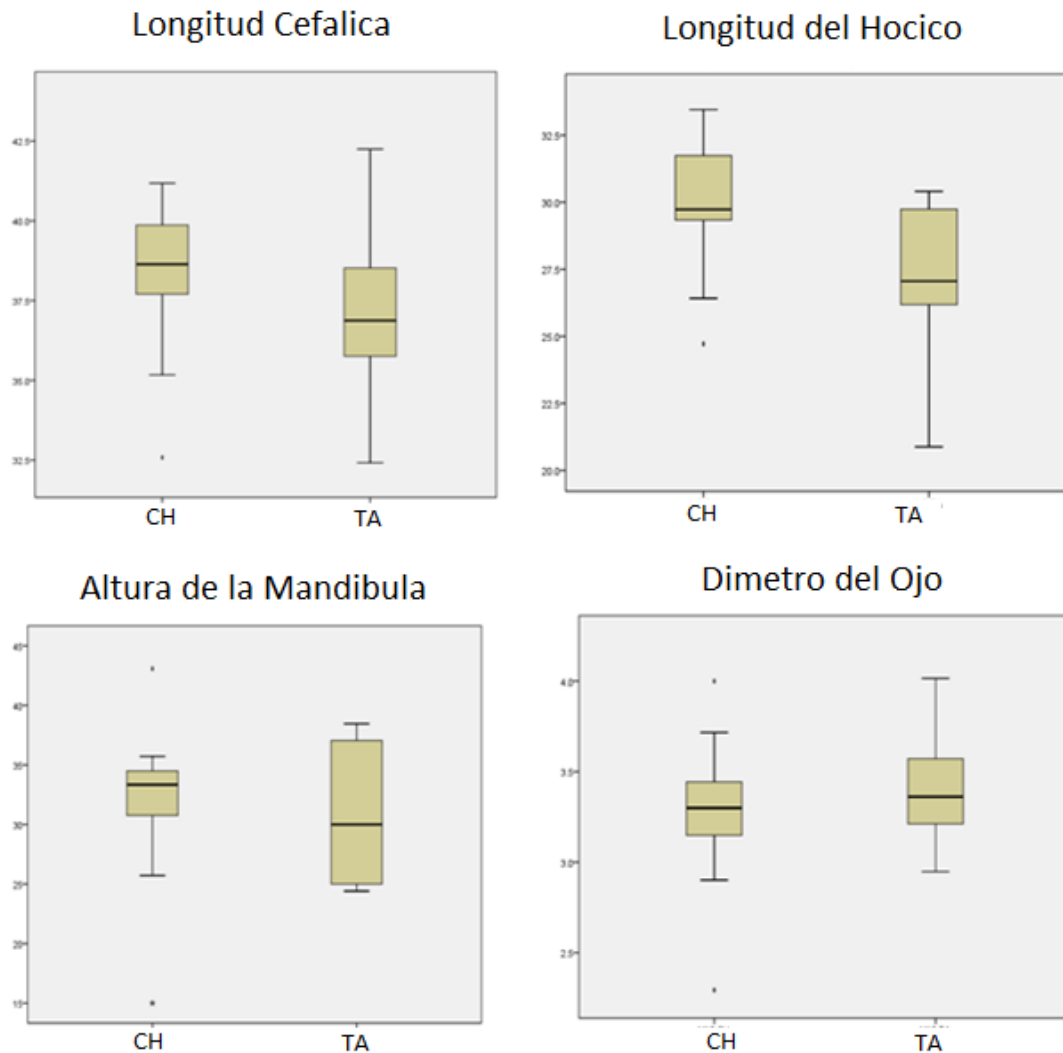


Figura 3. Diagramas de caja que muestran los caracteres correspondientes a las proporciones de las estructuras morfológicas relacionadas a la región cefálica.

En la Figura 3 se observan las medias de los organismos de Chiapas (CH) con medias proporcionalmente mayores a la población de Tabasco (TA) a pesar de que las medidas son cercanas hay tendencia a separarse.

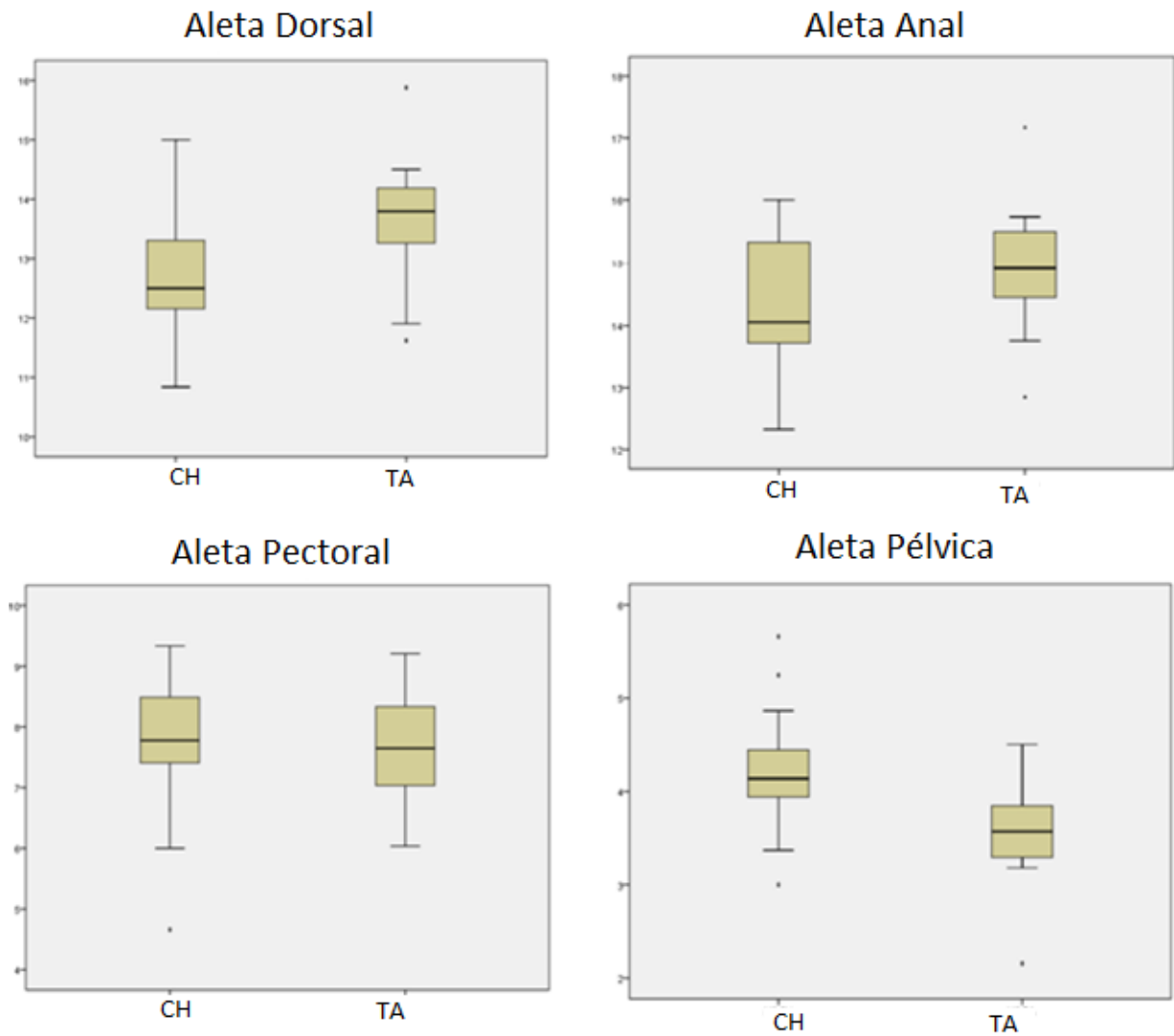


Figura 4. Diagramas de caja que muestran los caracteres correspondientes a las proporciones de las aletas.

La Figura 4 corresponde a las aletas, en la región posterior (aletas dorsal y anal) los organismos de Tabasco presentan una media más baja que los de Chiapas en la anterior la diferencia no es tan notoria, sin embargo existen medias mayores para Chiapas en las aletas pélvicas y pectorales.

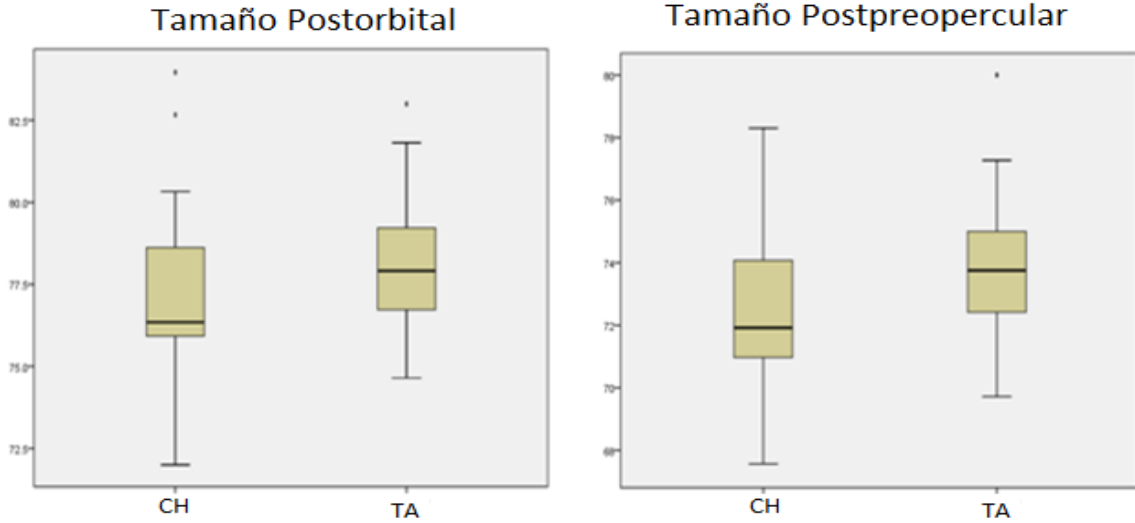


Figura 5. Diagramas de caja que muestran los caracteres correspondientes a las proporciones de segmentos corporales en relación a la longitud patrón.

La Figura 5 representa proporciones a partir de puntos cefálicos (final del orbital y final del preopérculo) comparada con la longitud patrón, los organismos de Tabasco presentan medias más grandes y medidas con tendencias menos dispersas.

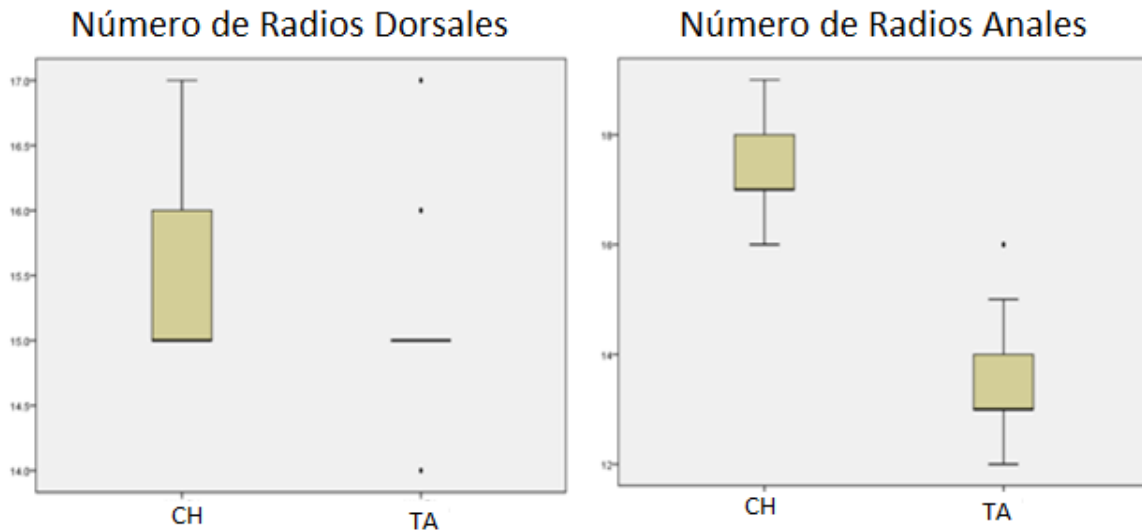


Figura 6. Diagramas de caja que muestran los caracteres correspondientes al número de radios.

Los diagramas de la Figura 6 corresponden a número de radios dorsales y anales, a pesar de que la tendencia en dorsales es prácticamente igual, la media en los radios anales hace diferencia en el grupo mostrando la mayoría de los organismos de Tabasco muy distintos a los de Chiapas.

VIII.I.ii. Análisis Univariado.

Para minimizar la influencia de las tallas al interior de los grupos se realizó el análisis de proporciones. Posteriormente se realizó el análisis de *t* de Student entre los caracteres de ambas poblaciones en donde se obtuvo la tabla de correlación entre variables y significación de la prueba *t* y la tabla de prueba *t* con una significancia de 95%. (Tabla 2)

Tabla 2. Correlación y significancia por variables y grupos.

Chiapas & Tabasco	N	CORRELACIÓN	SIG.
Cabeza/LP	21	0.367	0.102
Hocico/LP	21	0.343	0.128
Dorsal/LP	21	-0.245	0.284
Anal/LP	21	-0.029	0.9
Pectoral/LP	21	0.387	0.083
Pélvica/LP	21	0.164	0.477
T. Postpreorbital/LP	21	-0.158	0.493
T. Postpreopercular/LP	21	0.039	0.868
D. Mandíbula/Prof. Cabeza	21	-0.212	0.357
Diametro del ojo/LP	21	-0.031	0.893
Radios dorsales	21	-0.11	0.635
Radios anales	21	-0.218	0.342

Se realizó una prueba *t* con muestras emparejadas en la que se comparan las medias, para realizarla se obtuvo la tabla de correlación de pruebas emparejadas en las que se ve correlación y significancia de las mismas. La prueba es de pertenencia a grupos con significancia de 95%.

La tabla 2 muestra la correlación y la significancia de cada una de las medidas en la muestra, en esta prueba si el valor de significancia es menor de 0.05 (α de la muestra) la correlación es significativamente diferente de 0, lo que indica que existe relación entre variables. En ninguna de las muestras es el caso.

Tabla 3. Prueba *t* de Student. Se observan resaltados los valores significativos.

Chiapas - Tabasco	Diferencias emparejadas					<i>t</i>	gl	SIG.(BILAT)
	MEDIA	DESV. EST.	MED. ERROR ESTANDAR	95% intervalo de confianza de la diferencia				
				INFERIOR	SUPERIOR			
Cabeza/LP	1.415	2.56	0.558	0.25	2.58	2.534	20	<u>0.02</u>
Hocico/LP	2.586	2.637	0.575	1.386	3.787	4.494	20	<u>0</u>
Dorsal/LP	-0.971	1.506	0.328	-1.657	-0.286	-2.957	20	<u>0.008</u>
Anal/LP	-0.602	1.407	0.307	-1.24	0.383	-1.961	20	0.064
Pectoral/LP	-0.01	1.081	0.235	-0.502	0.481	-0.044	20	0.996
Pélvica/LP	0.618	0.718	0.156	0.291	0.945	3.944	20	<u>0.001</u>
T. Postpreorbital/LP	-0.872	3.864	0.843	.A1-2.631	0.886	-1.035	20	0.313
T. Postpreopercular/LP	-1.507	3.457	0.75	-3.081	0.066	-1.998	20	0.059
D. Mandíbula/Prof. Cabeza	0.788	8.151	1.778	-2.921	4.498	0.443	20	0.662
Diametro del ojo/LP	-0.122	0.457	0.099	-0.33	0.086	-1.224	20	0.235
Radios dorsales	0.19	1.077	0.235	-0.3	0.681	0.81	20	0.428
Radios anales	3.714	1.764	0.385	2.91	4.517	9.645	20	<u>0</u>

En la prueba *t* a una significancia de 95% se observaron cinco valores significativos que corresponden a:

- Tamaño de la cabeza /LP
- Tamaño del hocico/ LP
- Tamaño de la aleta dorsal/LP
- Tamaño de la aleta pélvica /LP
- Numero de radios anales

Entonces se observa que estadísticamente hay diferencia significativa entre los grupos en los valores antes mencionados, lo que permite hablar de más de un patrón en las medidas de los organismos.

VIII.I.iii. Análisis multivariados.

Con un n=78 organismos de *Strongylura hubbsi* de Chiapas, Tabasco y *S. notata* se ingresaron todos los datos de 16 mediciones para realizar un análisis de componentes principales, primero se extrajo por medio del programa una matriz de estandarización para observar la desviación estándar y los números máximos y mínimos correspondientes a cada una de las variables.

Tabla 4. Estandarización de las variables.

VARIABLE	PROMEDIO	DESV. EST.	MIN.	MAX.
Cabeza/LP	37.535	2.976	27.85	43.62
Hocico/LP	28.803	2.679	20.25	33.57
Dorsal/LP	12.535	1.451	9.17	17.4
Anal/LP	13.623	1.849	8.13	17.18
Pectoral/LP	7.72	0.909	4.65	9.5
Pélvica/LP	3.984	1.299	2.15	13.84
T. Postpreorbital/LP	76.811	2.829	69.73	83.96
T. Postpreopercular/LP	71.609	7.316	13.41	80
D. Mandíbula/Prof. Cabeza	33.249	5.914	15	47.5
Diametro del ojo/LP	3.519	1.152	2.29	11.69
Radios dorsales	14.615	1.397	11	17
Radios anales	16	1.9	12	19

Posteriormente se generó una matriz de correlación que compara cada uno de los caracteres medidos entre sí para dar un coeficiente de correlación.

Una vez que se tenía el coeficiente de correlación de cada uno de los puntos se realizó un análisis de componentes principales, este análisis es exploratorio y se realizó con el total de la muestra para observar su comportamiento.

El análisis muestra al primer componente con el 32.92% de la variación total de la muestra, solo los primeros tres componentes son mayores al 10% de variación y acumulan el 61% de la variación total.

Tabla 5. Porcentaje de variación individual y acumulada por cada componente principal.

COMPONENTE	EIGENVALOR	% VARIACIÓN	%ACUMULADO
1	3.950	32.918%	32.918%
2	2.087	17.393%	50.310%
3	1.321	11.007%	61.317%
4	1.083	9.029%	70.346%
5	0.987	8.228%	78.573%
6	0.806	6.718%	85.292%
7	0.648	5.399%	90.691%
8	0.457	3.807%	94.498%
9	0.269	2.240%	96.738%
10	0.179	1.488%	98.226%
11	0.141	1.173%	99.399%
12	0.072	0.601%	100%

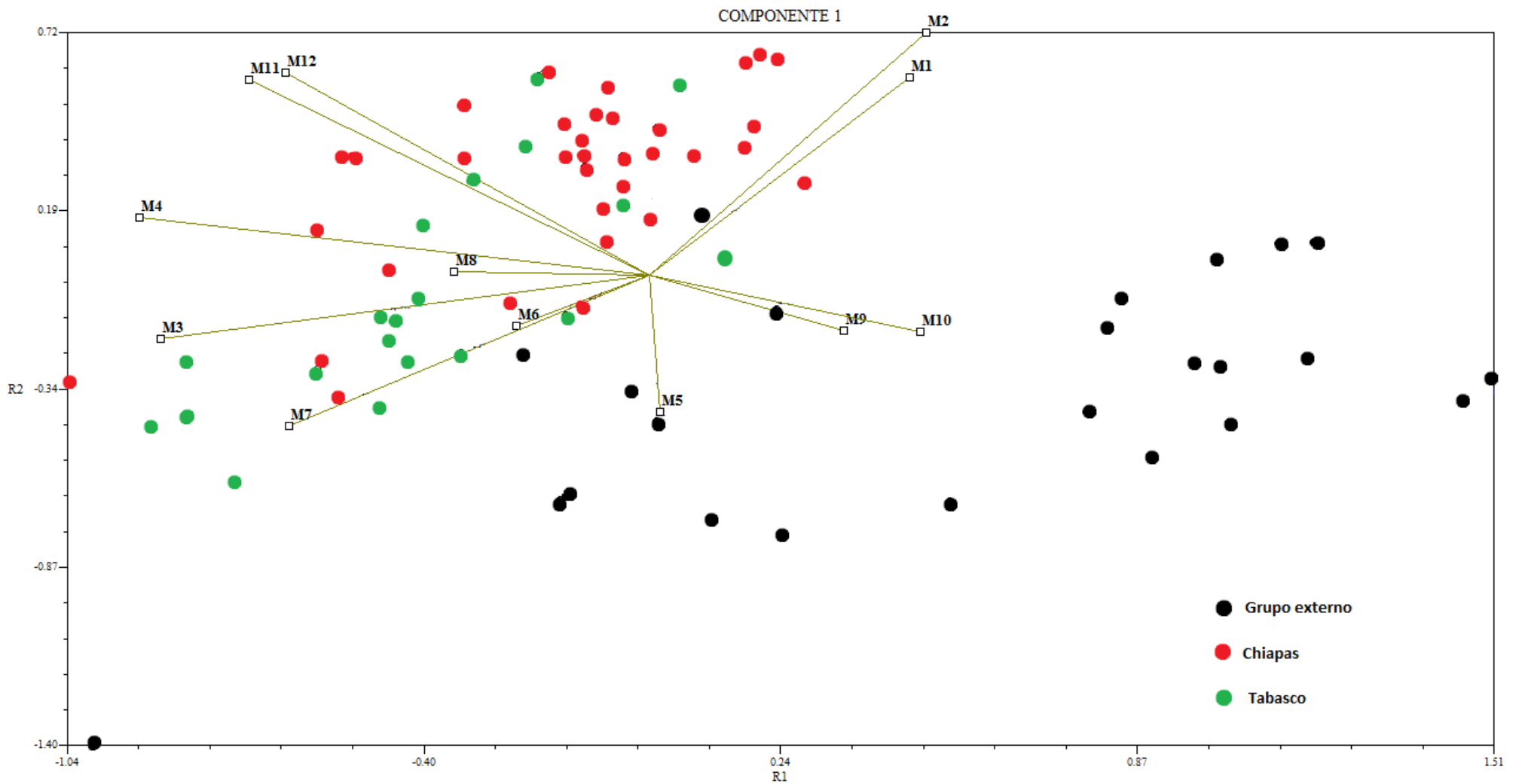


Figura 7. Primer componente principal

En el gráfico se observa el grupo externo (*Strongylura notata*) en color negro mayormente en la +X y -Y y los organismos de *S. hubbsi* en el lado de las -X pero la mayoría de organismos del estado de Chiapas (rojo) en la +Y separándose del grupo de Tabasco (verde) colocado en -Y.

Los organismos en la figura 7 se pueden dividir por los vectores de los puntos morfológicos, los organismos del grupo externo se observan en el lado derecho (+X) separados claramente de los dos grupos a prueba por los vectores de M6, M7 y M2. Que corresponden a longitudes de la pélvica, de la distancia postorbital y longitud del hocico todas comparadas con la LP. La principal variación observada entre el grupo externo y *S. hubbsi* son los radios dorsales y anales y la proporción de estas aletas, como se puede observar en, los organismos de *S. hubbsi* se agrupan en los puntos que corresponden a estos caracteres (M11, M12, M3 y M4), mientras los organismos de grupo externo se separan hacia el lado contrario.

Por otro lado la separación entre los organismos de Chiapas y Tabasco se da entre M11 (radios dorsales) y M4 (longitud de la pélvica) de tal forma que los organismos de Chiapas se agrupan hacia M2 (longitud del hocico) organizando a los de Tabasco en M6 y M7 correspondientes a la aleta pélvica y distancia postorbital marcando el cuerpo más elongado.

Tabla 6. Varianza al interior de cada componente principal.

	VARIABLE	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4
M1	Cabeza/LP	0.465	0.592	0.406	0.263
M2	Hocico/LP	0.496	0.723	0.307	-0.03
M3	Dorsal/LP	-0.874	-0.187	0.059	0.215
M4	Anal/LP	-0.911	0.175	-0.09	0.074
M5	Pectoral/LP	0.02	-0.403	0.596	-0.295
M6	Pélvica/LP	-0.0238	-0.148	0.397	0.158
M7	T. Postpreorbital/LP	-0.645	-0.448	0.309	0.106
M8	T. Postpreopercular/LP	-0.348	0.012	0.58	-0.018
M9	D. Mandíbula/Prof. Cabeza	0.349	-0.164	0.213	-0.628
M10	Diametro del ojo/LP	0.486	-0.167	0.219	0.641
M11	Radios dorsales	-0.716	0.585	0.011	-0.098
M12	Radios anales	-0.651	0.602	0.12	-0.146

En la tabla se observan los componentes respecto a los puntos medidos con los coeficientes de éstos, siendo los coeficientes más altos los que ejercen mayor influencia respecto al componente y según el signo hacia el lado que se acomodaran en el gráfico. En el primer componente los puntos más altos son M4, M3, M11, M12 y M7. Esto nos habla de que la principales diferencias se observan en el tamaño de las aletas dorsal y anal, los radios en las mismas son el segundo punto de variación y posteriormente la longitud postorbital en relación a la longitud patrón.

En el segundo componente la mayor variación la tienen M2, M12, M1 y M11, por lo que en este componente la variación de los radios se mantiene, sin embargo las diferencias más importantes están sobre la longitud del hocico respecto a la longitud patrón, y la longitud de la cabeza en LP.

En el tercer componente nuevamente aparecen M4 y M3 (dorsal y anal) aunque esta vez se suman M5 y M8, que corresponden a la longitud de la aleta pectoral y la distancia postpreopercular, ambas respecto a la LP.

VIII.II. Morfometría geométrica.

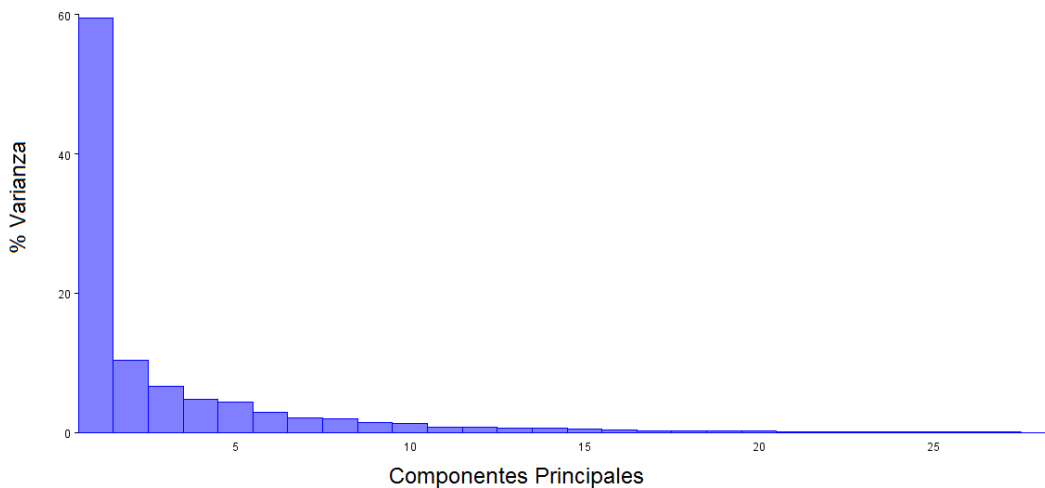
VIII.II.i. Análisis de componentes principales.

Una vez que los datos estuvieron ingresados en el programa y el ajuste de Procrustes ya se había efectuado, se realizó el Análisis de Componentes Principales (ACP), que compara cada organismo con el total de la muestra por lo que no considera los grupos asignados a priori.

El ACP dio como resultado que solo los dos primeros presentan más del 10% de la variación cada uno y con los tres primeros queda explicado más del 70%. Los restantes 25 componentes explican menos del 5% cada uno.

	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulativo
1	0.0010039	59.504%	59.504%
2	0.0001751	10.379%	69.883%
3	0.0001118	6.623%	76.507%
4	0.0000805	4.772%	81.279%
5	0.0000730	4.326%	85.605%

Tabla 7. Valores de los cinco primeros componentes principales



. Figura 8. Curva de Acumulación de porcentaje del ACP. Todas las localidades.

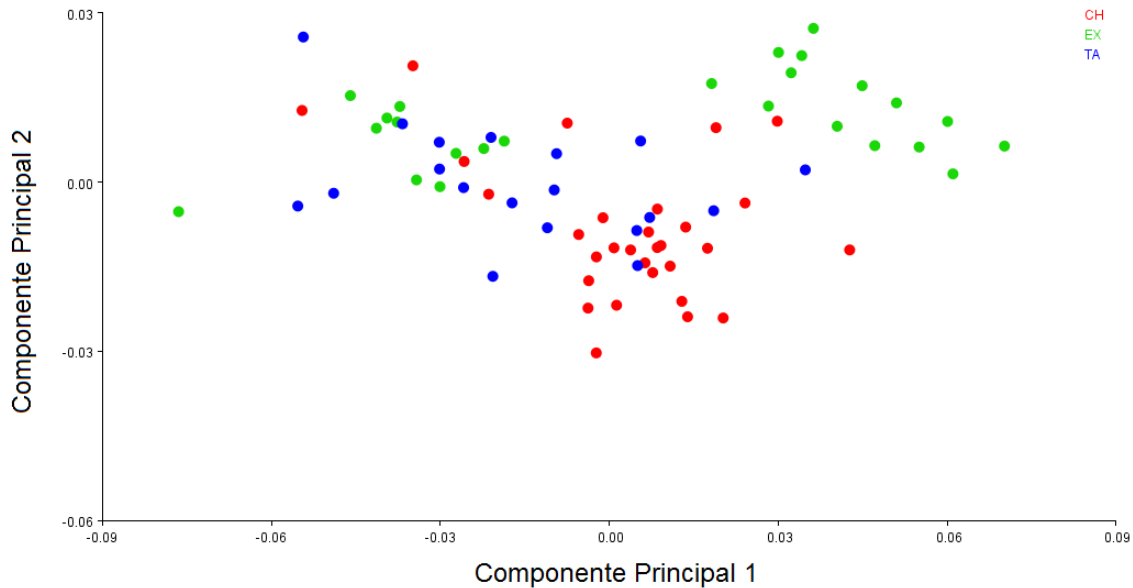


Figura 9. Primer contra segundo componente principal.

En la Figura 9 se observa el resultante del contraste entre los tres grupos, para efectos visuales se selecciona un color para cada uno de los grupos, a pesar de que hay superposición entre los tres, se puede observar una tendencia hacia alguno de los extremos en la mayoría de los organismos, las agrupaciones que se pueden ver son; los organismos de Chiapas en la zona central del eje X y en la parte negativa del Y, los del grupo externo se agrupan en la parte superior derecha, la fracción positiva de X y Y mientras que los de Tabasco se observan en $-X$ y en la parte central hacia la positiva del eje Y.

Primer componente principal

El primer componente principal define el 59.5% de la variación total agrupando cambios principalmente en los puntos 1 y 3 que corresponden a la longitud de las mandíbulas, se observa variación muy notoria en los puntos 12, 14, 15 y 16 que corresponde a la longitud del pedúnculo caudal y una variación muy notoria en la posición de la aleta pélvica(10).

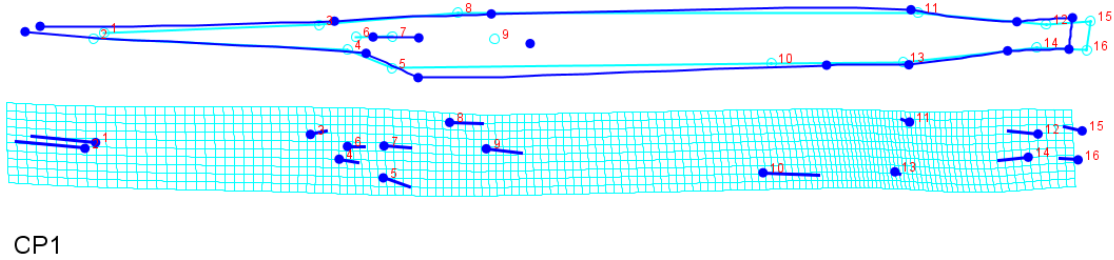


Figura 10. Entramado y Gradilla de deformación del CP1.

En la gráfica que compara el primero contra segundo componente principal se observa el grupo de Chiapas hacia el eje negativo, que se caracteriza por; un corrimiento de la aleta dorsal y anal hacia la parte posterior, también un corrimiento del pedúnculo caudal así como la aleta pélvica que se recorre hacia la parte posterior.

Segundo Componente Principal

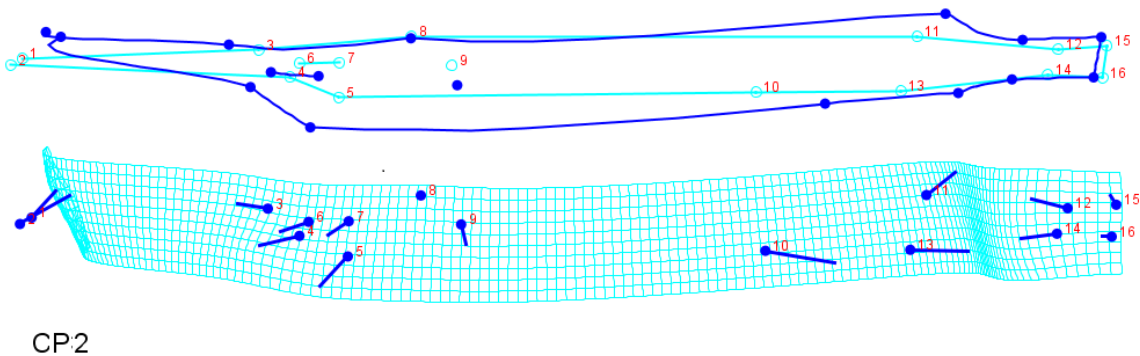
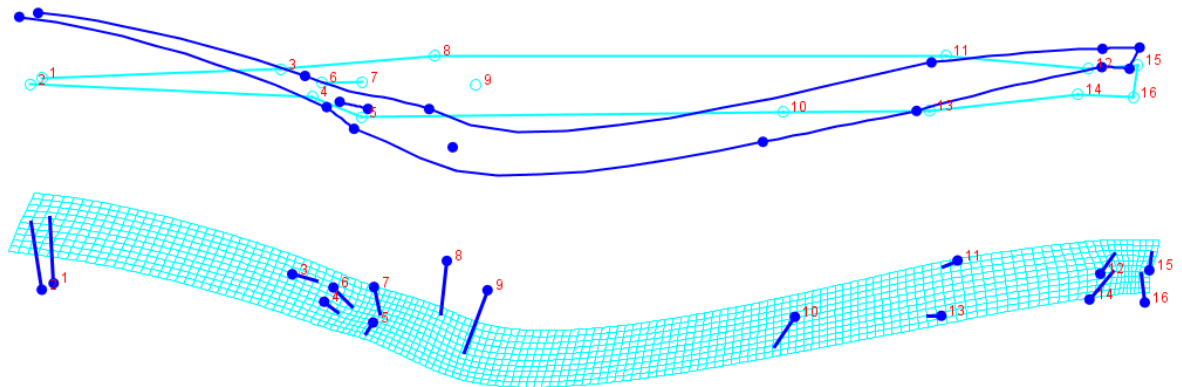


Figura 11. Entramado y gradilla de deformación del segundo Componente Principal.

El segundo componente principal explica el 10.37% de la muestra. Este componente agrupa cambios principalmente en el ancho del cuerpo y la unión del opérculo con el preopérculo, en la parte anterior a pesar de que el cambio en la distancia de las mandíbulas no es muy notorio (puntos 1 y 2) se observa mayor prolongación en los puntos que corresponden a la parte inferior de la cabeza (4 y 5), el ojo por lo tanto se ve desplazado hacia abajo y ligeramente hacia adelante pegándose más a las mandíbulas, en el caso del premaxilar (3) el desplazamiento observable es hacia la parte anterior, por lo que el hueso mandibular se nota más pequeño .

Tercer Componente Principal.



CP 3

Figura 12. Entramado y Gradilla de deformación del tercer Componente Principal

Este componente contiene el 6.63% de la variación total de la muestra, el primer cambio que se observa es que el entramado maneja individuos más elongados y delgados, en la parte anterior se observa movimiento en la posición de las mandíbulas, pero los más notorios son la posición de la aleta pectoral (punto 9) y del occipital (8), punto que no presenta variación en los primeros dos componentes.

VIII.II.ii. Función Discriminante.

Una vez que se realizó el análisis exploratorio al interior de la muestra, se analizó entre categorías por medio del análisis de la función discriminante, este análisis prueba la pertenencia de las categorías asignadas a priori y maximiza las diferencias entre pares de categorías. El análisis se aplicó respecto a la clasificación “estado” con las categorías, “*S. hubbsi* Chiapas” y “*S. hubbsi* Tabasco”.

En este análisis se observa la función discriminante con el 100% de los organismos dentro de sus respectivos grupos asignados a priori. Posteriormente en la validación cruzada los organismos de Chiapas mantienen 83% dentro de su mismo grupo y los de Tabasco 68%.

Tabla 8. Porcentajes en función discriminante y validación cruzada en Chiapas y Tabasco.

FUNCION DISCRIMINANTE			
GRUPO	CHIAPAS	TABASCO	TOTAL
CHIAPAS	30(100%)	0(0%)	30(100%)
TABASCO	0(0%)	19(100%)	19(100%)
VALIDACIÓN CRUZADA			
GRUPO	CHIAPAS	TABASCO	TOTAL
CHIAPAS	25(83.3%)	5(16.6%)	30(100%)
TABASCO	6(31.5%)	13(68.4%)	19(100%)

Para observar la distancia entre grupos se obtuvo la distancia Procrustes entre categorías y la distancia de Mahalanobis; Procrustes: 0.02302252 Mahalanobis: 5.0220.

Se realizó una prueba T-cuadrada para probar la similitud entre distribuciones de las categorías, esta prueba arrojo diferencias significativas con T-cuadrada: 293.3790 y $P < 0.0005$. Para confirmarlo se realizó la prueba con 1000 y 2000 permutaciones arrojando resultados muy similares (distancia Procrustes: $< .0001$, distancia Mahalanobis: $< .0001$).

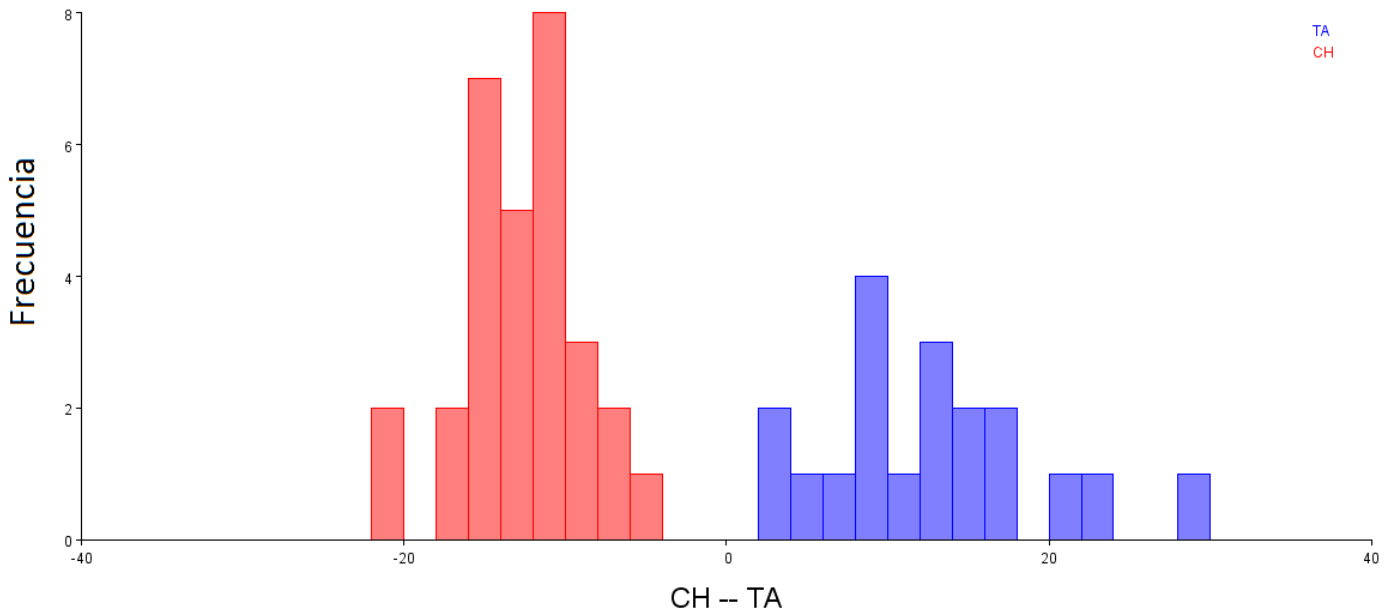


Figura 13. Función Discriminante. Distribución Chiapas y Tabasco

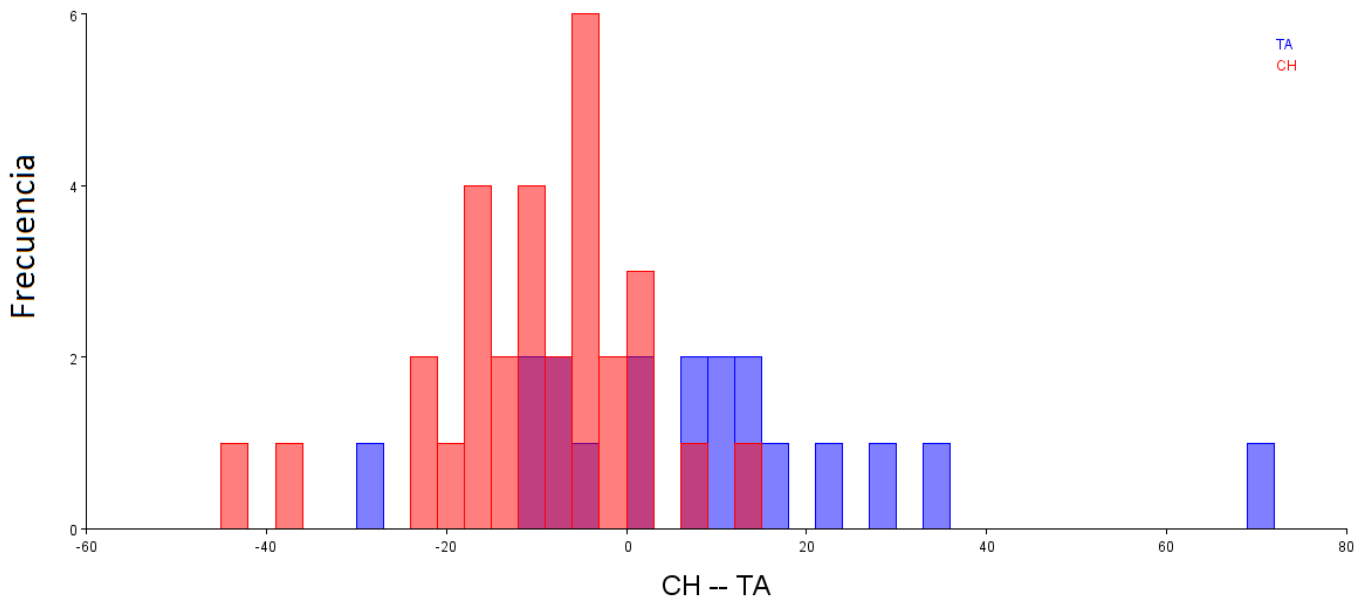
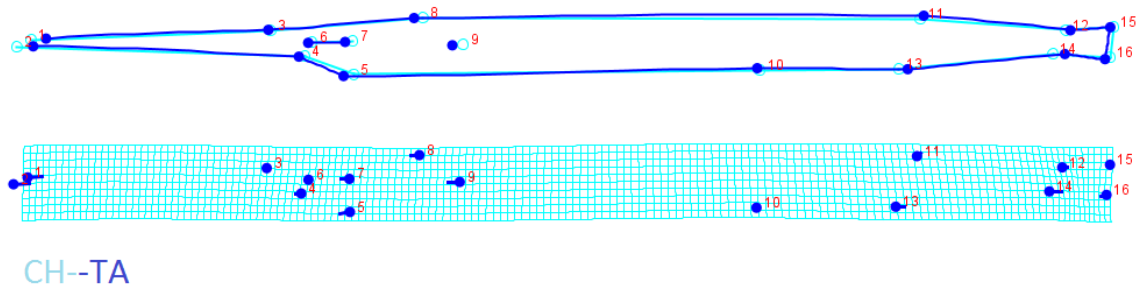


Figura 14. Validación cruzada. Chiapas y Tabasco

También se generó un rejilla de deformación y un entramado para poder visualizar los cambios, los puntos que se observan más modificados son; 1 y 2 que corresponden a las mandíbulas, el punto 8 que corresponde al occipucio, punto 9 posición de la aleta pectoral, 13 y 14 que representan la aleta anal y 15 y 16 que se refieren a los bordes de la aleta caudal, representando el pedúnculo caudal.



CH-TA

Figura 15. Entramado y gradilla de deformación del análisis de Función discriminante

VIII.II.iii. Análisis de Variables Canónicas.

Se aplicó un análisis de variables canónicas con el fin de observar cómo se comportaba el total de la muestra, en este análisis se incluyeron 74 especímenes correspondientes a Chiapas, Tabasco y grupo Externo. Los grupos asignados se usaron como categorías de clasificación.

El análisis arrojó dos variables canónicas que explican el 100% de la variación al interior de la muestra, la primera explica el 72.29% y la segunda el 27.5% restante.

VARIABLE	EIGENVALORES	%VARIANZA	%ACUMULADO
1	3.765	72.249%	72.249%
2	1.446	27.751%	100%

Tabla 9. Eigenvalores y varianza dentro de la muestra. Variables Canónicas.

Puesto que son solo dos variables canónicas, estas se utilizaron para generar una figura comparativa que contraste y permita analizar los cambios y separaciones entre grupos.

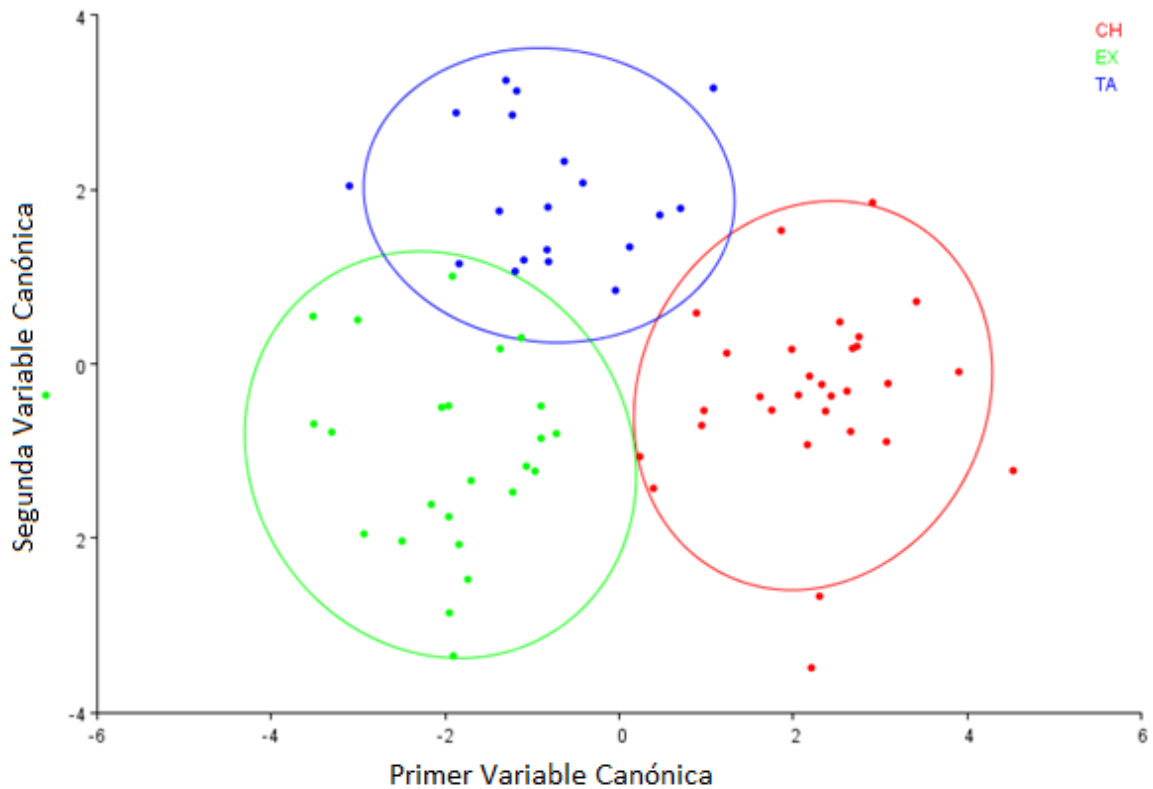


Figura 16. Elipses de confianza de primera contra segunda variable canónica.

El eje X representa la primera variable canónica por lo que la mayoría de la variación se observa sobre este, separando los organismos de Chiapas en el eje positivo, los del grupo externo en el eje negativo y los de Tabasco en el centro con una tendencia mayor hacia el negativo. Respecto a la varianza en la Y corresponde a la segunda variable agrupa los organismos de Tabasco en el eje positivo y los de Chiapas y grupo externo en el negativo.

Primer variable canónica

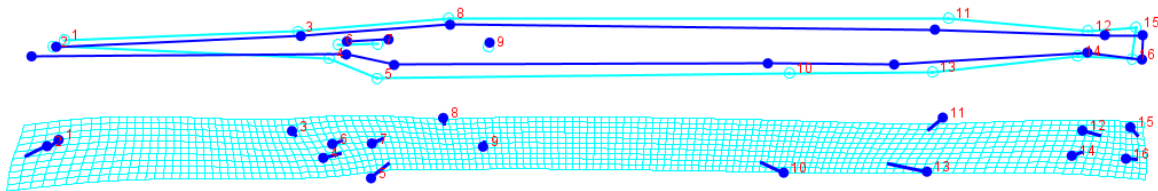


Figura 17. Entramado y Gradilla de deformación de la primer variable canónica.

La primer variable canónica explica el 72% de la variación total de la muestra, en los coeficientes da la variable los puntos con mayor influencia son 1 y 2 que se refieren a la proyección terminal de las mandíbulas, en la gradilla se observa un desplazamiento de estas hacia la parte anterior baja, los puntos 4 y 5 que corresponden al final de la mandíbula y la intersección del opérculo con el preopérculo, su desplazamiento hacia la parte superior en ambos casos modifica la forma promedio de la cabeza haciéndola más alargada y con el ojo desplazado hacia una posición posterior, por ultimo lo puntos 11 y 13 corresponden a la inserción de las aletas dorsal y anal respectivamente, estas se desplazan hacia el interior de la gradilla modificando el promedio hacia organismos con el cuerpo más delgado y haciendo ligeramente mayor el pedúnculo caudal.

Segunda variable canónica.

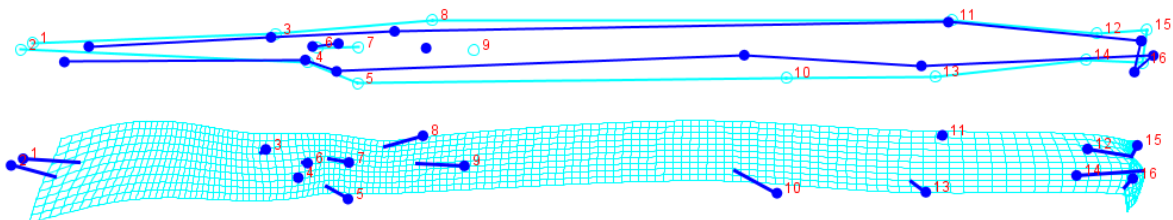


Figura 18. Entramado y gradilla de deformación de la segunda variable canónica.

Distancia de Procrustes y Mahalanobis

Se aplicó una prueba de T-cuadrada con 1000 permutaciones entre pares de localidades para corroborar que existieran diferencias significativas entre las categorías, para analizarlas se usaron tanto la distancia de Procrustes como la de Mahalanobis, siendo mayor la segunda pero manteniendo las diferencias entre grupos.

	CHIAPAS		G. EXTERNO	
Distancia	Procrustes	Mahalanobis	Procrustes	Mahalanobis
G. EXTERNO	0.021	4.34		
P-Valor	0.019	<0.0001		
TABASCO	0.023	3.81	0.028	3.236
P-Valor	0.001	<0.0001	0.017	<0.0001

Tabla 10. Distancia de Procrustes y Mahalanobis utilizando 1000 permutaciones.

IX. DISCUSIÓN

El trabajo presentado es un acercamiento morfológico a la taxonomía de *Strongylura hubbsi*, permite observar cambios que se consideran relacionados al medio en el que habitan los organismos, estos cambios se agrupan en dos formas patrón.

Meraz (2011) define la macroevolución como el proceso de reproducción diferencial de individuos y la mejora adaptativa sobre un periodo de tiempo muy grande y menciona que este tipo de evolución tiene como fundamento la interpretación de la aparición de grupos grandes. Con una visión neodarwinista, Ridley (2004) a su vez explica la microevolución como cambios en las frecuencias de las variantes pre-existentes; la mayoría de los caracteres muestran variación y el carácter evoluciona en función de la alteración, por selección de su distribución de frecuencias de generación en generación dentro de una población o subpoblación reproductiva.

A partir del origen de la síntesis biológica en el siglo XX, la evolución de las poblaciones (microevolución) fue ratificada como el ámbito principal de evolución, relegando la de los taxones superiores (macroevolución) (Folguera, 2010). El proceso es continuo, sin embargo el la evolución solo es apreciable a través del tiempo.

La bondad del uso de las medidas tradicionales en el reconocimiento de especies es ampliamente conocida, estos trabajos destacan la necesidad de buscar nuevas características morfológicas que avalen las diferencias entre especies cuya biología es desconocida o poco estudiada (González-Díaz *et. al.*, 2005).

El trabajo utiliza estadística multivariada en los dos procedimientos, lo que permite poner a prueba la presencia de grupos, no solo para observar las formas, sino para ubicar las diferencias significativas entre ellos y reconocer en donde se sitúan. Aunado a esto, los análisis realizados (variables canónicas y función discriminante) permitieron observar las diferencias entre grupos.

Morfometría tradicional

En la figura 6 se compara *S. hubbsi* con un grupo marino (*S. notata*) esto permite observar que como especie las proporciones en la longitud de la mayor parte del cuerpo así como el conteo de radios varía, haciendo más elongado a *S. hubbsi*. Entre las poblaciones de la especie, los del estado de Tabasco (Norte) se

mantienen con un menor tamaño de hocico y cabeza en proporción al cuerpo y las aletas dorsal y anal más largas en la misma. Estas son las poblaciones más alejadas de la cabecera del río Usumacinta.

La morfometría tradicional muestra diferencias notorias en la mayoría de los valores que se consideraron, pero a partir de esta se puede dar importancia a los caracteres para separar a nivel de claves taxonómicas a los organismos del estado de Chiapas (Sur) con los de Tabasco, es muy notoria la proporción de las aletas con la longitud patrón, presentando las de Tabasco tamaño significativamente mayor en la dorsal y también resulto ser significativo el tamaño menor en la pélvica. De la misma forma en longitud de la cabeza y del hocico los organismos del estado de Chiapas son mayores respecto a los de Tabasco. El número de radios de la aleta anal es menor para los organismos de Tabasco. Y por último los organismos del estado de Chiapas presentan los tamaños postorbital y postpreopercular más cortos que los de Tabasco, lo que nos da como resultado en general cuerpos más alargados, con mayor notoriedad en la parte ventral en Chiapas y en el caso de Tabasco, cuerpos más anchos con mayor impulso en la región caudal con cabeza y mandíbulas más cortas.

González-Díaz *et al.* (2010) en un estudio morfológico menciona que las diferencias significativas permiten separar a los organismos y los validan como grupos distintos. En las pruebas de morfometría tradicional para *S. hubbsi* se observan cinco variables que presentan diferencias significativas

Los resultados estadísticos muestran que existe diferencia significativa entre los grupos (Enríquez, 2010), en el análisis de muestras emparejadas se obtienen cinco medidas significativas de las cuales tres se sitúan en la región posterior del cuerpo, esto se ve reflejado en el análisis de componentes principales que también separa los grupos tanto de forma numérica con un 61.3% de variación en los primeros 3 componentes, como de forma gráfica.

Las diferencias en total de los componentes se asocian a la longitud de las aletas, el tamaño de la cabeza y hocico, y la longitud del cuerpo, esto se puede referir a que la elongación que se presenta en algunos organismos es mayor que la de otros.

Morfometría geométrica

Esta técnica de análisis considera la morfología completa y la variación intraespecífica, disminuye la variación producto del tamaño corporal; sus resultados se han utilizado para hacer interpretaciones desde el punto de vista

funcional e inferir procesos evolutivos (Soria *et al.*, 2011). Este análisis complementa y fortalece lo obtenido en morfometría tradicional al generar resultados muy semejantes. En el Análisis de componentes principales se obtiene una variación del 76% en los primeros tres componentes, además el análisis arroja una forma patrón gráfica y la variación observada de los organismos hacia ella. En estos gráficos se observan cambios muy semejantes a los obtenidos en morfometría tradicional, es decir: variaciones en el ancho del cuerpo, tamaño de las aletas dorsal y anal y longitud tanto cefálica como de mandíbulas.

El primer componente se caracteriza por el corrimiento hacia la parte anterior de las mandíbulas, sin embargo al estar comparando también los organismos con un grupo externo que presenta mandíbulas más pequeñas en proporción al cuerpo, se provoca que la nube de puntos de los organismos de Chiapas y Tabasco se acomoden en mayor cantidad hacia el lado negativo de las Y. en la región positiva de la tabla se ubican en su mayoría los organismos de grupo externo, que se caracterizan por, mandíbulas y aletas dorsal y anal más cortas en proporción al cuerpo, además de presentar el cuerpo más ancho.

Para el segundo componente en la parte posterior del cuerpo se puede observar una disminución notoria en el tamaño de las aletas dorsal y anal, a pesar de eso el tamaño del pedúnculo caudal prácticamente se mantiene igual. En este componente no se ve desplazamiento tan notorio en la aleta pectoral, al contrario de la pélvica que se sigue observando desplazamiento hacia la parte posterior del cuerpo.

En el tercer componente en la parte posterior disminuye el movimiento presentado por la aleta pélvica, dorsal y anal, sin embargo los puntos de termino de dorsal y termino de anal (12 y 14 respectivamente) se desplazan hacia los puntos 15 y 16 que corresponden a los bordes de la aleta caudal, propiciando que individuos con el pedúnculo caudal más cortos se encuentren desplazados.

El análisis de función discriminante confirma que los grupos se separan por los puntos marcados anteriormente y genera pruebas de análisis estadísticos que apoyan la presencia de estos grupos, el traslape observado responde a la localización geográfica de los organismos (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2013).

Los cambios observados en las formas indican que los organismos de Chiapas presentan mandíbulas más alargadas (1 y 2), los puntos 4 y 5 se compactan hacia el interior de la figura por lo que se observa la cabeza más pequeña y delgada al relacionarla con los puntos 6, 7 y 8 que se desplazan hacia la parte posterior, el ojo presenta movimiento hacia la región posterior al igual que la aleta pectoral, no

se observa desplazamiento en la pélvica (10) ni en la dorsal (11 y 12), sin embargo la aleta anal (13 y 14) se desplaza hacia la parte superior y anterior haciendo más delgado el cuerpo y moviendo la aleta, sin embargo en los últimos dos puntos se observa desplazamiento posterior para mantener más el alargamiento del cuerpo.

El análisis de variables canónicas solo arroja dos variables que en total dan el 100% de la variación de la muestra y separa de forma gráfica a los grupos, además de generar las elipses de confianza a 90% que separa los grupos manteniendo la misma dinámica.

Este análisis explica el 75% de la variación al interior de la muestra en la primer variable y el 27.7% en la segunda, los coeficientes canónicos destacados señalan 7 landmarks, los primeros dos nuevamente corresponden a las mandíbulas, sin embargo en esta variable se recorren hacia la parte central del cuerpo, esta situación junto con los puntos 5 y 6 que marcan el final de la región cefálica, modifican está dándole un menor tamaño respecto a la forma promedio, de la misma forma las aletas pectoral y pélvica (puntos 9 y 10) se ven desplazadas hacia la región anterior del cuerpo. Por último es muy notorio también el desplazamiento en los puntos 13 y 14 que corresponden al final de las aletas dorsal y anal respectivamente. Estos puntos se desplazan hacia la región posterior, casi provocando una superposición con los puntos 15 y 16 que corresponden en conjunto al pedúnculo caudal.

En la pruebas de morfometría geométrica claramente se separan por lo menos dos formas con 76% de variación en los primeros tres componentes principales y forma grupos definidos en variables canónicas, estos resultados comparados con otros estudios de morfometría geométrica (Salas *et. al.*, 2012) que separan especies permiten justificar el reconocimiento de al menos dos especies en la zona.

En estudios previos del genero *Strongylura* Collette (2003) menciona que las especies dulceacuícolas tienen tendencia a desplazarse grandes distancias. Los organismos muestreados se podrían considerar geográficamente conectados en los extremos norte y sur de la cuenca de los ríos Grijalva-Usumacinta en el centro del sureste mexicano. Los grupos que se forman en los resultados de este estudio se relacionan directamente con su localización y las variaciones tanto morfológicas como morfométricas que los separan y pueden considerarse una respuesta al medio en el que se desenvuelve cada uno de los grupos, si se consideran poblaciones.

Collette *et al.*, en 1984 y posteriormente en 2001 con Lovejoy hablan de las invasiones que tuvo el género *Strongylura* en agua dulce, particularmente un ancestro marino de *S. hubbsi* invadió el continente y posteriormente presenta divergencia en el mioceno tardío según el reloj molecular. Es el momento aproximado donde se dan surgimientos en lo que hoy es Centro América, entre estos la sierra de Chiapas. Para explicar la especiación de este grupo se compara con una de las teorías explicadas por Soria y Paulo-Maya (2005) donde tomando evidencia geológica, paleontológica y biogeográfica de otros grupos de peces, es posible explicar la diversificación de las especies del grupo Atherinopsidae por procesos de aislamiento geográfico en el surgimiento del eje volcánico Transversal.

En un contraste de organismos de Goulding y Carvahlo (1984) se comparan los especímenes del Amazonas y se hace referencia a *S. hubbsi*, mencionando que los biotipos dan la impresión de pertenecer a zonas de corriente escasa, esa referencia se contrasta con los obtenidos en los resultados puesto que se observan variedades de organismos con biotipos altamente hidrodinámicos y adaptados a las corrientes fuertes de la zona. Lo anterior es referencia bibliográfica de las diferencias observadas con los organismos evaluados en la descripción original así como entre los muestreados en el área estudiada.

X. CONCLUSIONES

El trabajo presentado aumenta el conocimiento de la especie tanto a nivel taxonómico como de diversidad, someter a prueba a una especie que puede presentar gran variabilidad morfológica permite reconocer criterios de identificación para hacerla más exacta, a pesar de esto la biología y taxonomía de *S. hubbsi* sigue siendo escasa.

Tanto la morfometría geométrica como la tradicional, permiten encontrar diferencias al interior de los grupos y poner estas a prueba, se observaron 5 características morfológicamente significativas que corresponden a la longitud de la cabeza, longitud del hocico, longitud de la aleta pélvica, longitud de la aleta dorsal y número de radios anales en morfometría tradicional. Se observaron diferencias tanto en el ancho del cuerpo como en longitud del hocico y de las aletas dorsal y anal en morfometría geométrica que separa al grupo de Chiapas del de Tabasco. Así como más del 65% de variación en los primeros tres componentes en los dos ACP, lo que permite asegurar diferencias al interior de la especie.

En el trabajo se cumple la hipótesis alterna observándose la presencia de más de una morfoespecie con características morfométricas significativamente diferentes que corresponden al aislamiento geográfico presentado en las distintas localidades en un esquema de especiación semejante al presentado por el grupo Atherinopsidae.

Finalmente en el trabajo se cumplieron reconocieron y evaluaron las diferencias morfométricas y se evaluó la variación interpoblacional, comparando las especies con todo el material que fue posible obtener la variación observada es significativa, considerando que el grupo está en medio de un proceso de especiación resultante de las importantes barreras geográficas como la sierra de Chiapas, se puede confirmar que existen diferencias que resultan en la presencia de por lo menos dos especies.

XI. RECOMENDACIONES

Se propone principalmente aumentar el estudio de la especie, a pesar de que la taxonomía es el punto de partida también se sugiere iniciar estudios ecológicos como la alimentación y épocas reproductivas de la(s) formas encontradas.

Si bien se utilizaron todos los organismos disponibles con el fin de obtener una muestra adecuada, se recomienda utilizar una muestra mayor por localidad, así como aumentar el número de localidades, en la descripción original se mencionan organismos en el río Coatzacoalcos sin embargo no se obtuvo ninguna muestra de la zona, por lo que se recomienda extender el muestreo hasta la zona.

El uso de morfometría tradicional se complementó con la morfometría geométrica, fortaleciendo los resultados y dando sustento a las observaciones realizadas, sin embargo a pesar de que la morfometría geométrica toma mucha fuerza y presenta constante actualización, no se pueden dejar atrás las técnicas más recientes, por lo que se sugiere el uso de marcadores moleculares para continuar el trabajo.

XII. LITERATURA CITADA

- Adams, D.C., F. J. Rohlf y D. E. Slice. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the “revolution”. *Journal of Zoology*. 71:5-16.
- Banford, H. M., E. Bermingham y B.B. Collette. 2004. Molecular phylogenetics and biogeography of transisthmian and amphi-Atlantic needlefishes (Belonidae: *Strongylura* and *Tylosurus*): Perspectives on New World marine speciation. *Mol. Phylogenet. Evol.* 31: 833-851.
- Bernal García, J., M. Martínez y J.F Sánchez García. 2005. Modelización de los factores más importantes que caracterizan un sitio en la red. XII Jornadas de ASEPUMA. 1-19
- Bookstein, F. L. 1982. Foundations of morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 13. 451-470.
- Bookstein, F. L. 1991. *Morphometric Tools for Landmark Data*. New York: Cambridge University Press. XVIII, 435-450
- Castro-Aguirre, J. L., H. Espinosa Pérez y J. J. Schmitter-Soto. 1999. Ictiofauna estuarino-Lagunar y vicaria de México. Colección Textos Politécnicos. Serie Biotecnologías. 1-711.
- Comisión Nacional del Agua, 2014. Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía en el consejo de cuenca de los ríos Grijalva Y Usumacinta. Organismo de cuenca frontera sur, Consejo de cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta. Octubre 2014. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2013. La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Gobierno del Estado de Chiapas. México.
- Collette, B. B. 1966. Belonion, a new genus of fresh-water needlefishes from South America. *Amer. Mus. Novitates*, No. 2274:1-22.
- Collette, B.B. 1974. *Strongylura hubbsi*, a new species of freshwater needlefish from the Usumacinta Province of Guatemala and México. *Copeia*. 611-619.
- Collette, B. B. 2003. Belonidae, needlefishes. *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and Am. Soc. Ichthyol. Herpetol. Spec. Publ.* 5. FAO, Rome. v. 2: 1104–1113.
- Collette, B. B. 2003. Family Belonidae Bonaparte 1832. *California Academy of Sciences annotated checklists of fishes*. Washington DC. No. 16: 1-23.
- Collette, B.B., G. McGowen, N.V. Parin y S. Mito. 1984. Beloniformes: development and relationships. *Am. Soc. Ich. Herp. Special Publ.* No. 1:335–354.

- Collette, B.B. y N.V. Parin. 1970. Needlefishes (Belonidae) of the eastern Atlantic Ocean. *Atlantide Rept.* 11:8-60.
- De la Fuente, S. 2011. Análisis Discriminante. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Madrid. 1-43.
- Del Moral-Flores, L.F. 2016. Diversidad y Patrones Biogeográficos de la Ictiofauna Marina de México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de Mexico. 600.
- Enríquez-Mantilla, G. 2010. Inferencia Estadística. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad Alas Peruanas. 175-193.
- Eschmeyer, W.N., R. Fricke, y R. van der Laan. Catalog of Fishes: Genera, Species, References. (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>). Versión electrónica Revisada: 25/07/2017.
- Espinosa-Pérez, H. 2014. Biodiversidad de peces en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 85: 450-459.
- Fisher, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter, y V.H. Niem. 1995, Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca pacífico centro-oriental Volumen II. Vertebrados - Parte 1. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación. Roma.
- Folguera, G. 2010. La relación entre microevolución y macroevolución desde la síntesis biológica: entre las diferencias y las similitudes. *Filosofía e História da Biologia.* V 5. 2:277-294.
- García-Molina, L. E. 2013. Revisión taxonómica del género *Heterandria* usando Morfometría Geométrica. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- González, A. A., E. Pardo, M. Barreto y R. Rodiles. 2005. Análisis morfométrico de los peces del grupo Labialis, género *Profundulus* (Cyprinodontiformes: Profundulidae), en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* V. 198 76: 55- 61.
- Goulding, M. y M.L. Carvalho. 1984. Ecology of Amazonian needlefishes (Belonidae) *Revista Brasileira de Zoologia.* S Paulo 31:99-111.
- Hubbs, C. L. y K.L. Lagler. 1958 *Fishes of the Great Lakes Region*, 2^{da} edition. Cranbrook Institute of Science Bulletin. 26:1-213.
- Jaramillo, N.O. 2011. Morfometría Geométrica: Principios Teóricos y Métodos de Empleo. Research Gate. Universidad de Antioquia.
- Kendall, D. G. 1977. The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability.* 9: 428-30.
- Kendall, D. G. 1984. Shape-manifolds, Procrustean metrics, and complex projective spaces. *Bull. London Math. Soc.* 16: 81-121.

- Kendall, D. G. 1984. The statistics of shape. En: Barnett, V. Interpreting multivariate data. New York, John Wiley & Sons. 75-80.
- Klingenberg. C.P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11:353-357.
- Lovejoy, N.R. 2000. Reinterpreting recapitulation: Systematic of needlefishes and their allies (Teleostei: Beloniformes). *Evolution* 54(4): 1349-1362.
- Lovejoy, N. R y B.B. Collette. 2001. Phylogenetic relationships of New World Needlefishes (Teleostei: Belonidae) and the biogeography of transitions between marine and freshwater habitats. *Copeia* 2: 324-338.
- Lovejoy, N. R., M. Iranpour y B.B. Collette. 2004. Phylogeny and jaw ontogeny of Beloniform fishes. *Integr. Comp. Biol.* 44:366-367.
- Lozano-Vilano, M.L., M. E. García Ramírez, S. Contreras-Balderas y C. Ramírez-Martínez. 2007. Diversity and conservation status of Ichthyofauna of the Río Lacantún basin in the Biosphere Reserve Montes Azules, Chiapas, México. *Zootaxa* 1410: 43-53.
- March, I.J. y M. Castro, 2010. La Cuenca del Río Usumacinta: Perfil y perspectivas para su conservación y Desarrollo Sustentable. Instituto Nacional de Ecología. México, 21.
- Mayr, E. 1991. One long. Argument, Charles Darwin and the genesis of modern evolutionary thought. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Meraz J. F. 2011. Macroevolución y Microevolución. *Ciencia y mar. México* XV(44): 45-47.
- Miller, R., W. L. Minckley y S. M. Norris. 2005. Freshwater fishes of Mexico. University of Chicago Press. EUA. 490.
- Myers, G. S. 1938. Fresh-water fishes and West Indian zoogeography. *Ann. Rept. Smithsonian Institute.* 1937: 339-364.
- Myers, G. S. 1949. Salt-tolerance of fresh-water fish groups in relation to Zoogeographical problems. *Bijdr. Dierk.* 28:315-322
- Myers, G. S. 1966. Derivation of the Freshwater Fish Fauna of Central America. *Copeia* 4:766-773.
- Nelson, J. S., T. Grande y M.V.H. Wilson. 2016. *Fishes of the World*, 5ª Ed. John Wiley & Sons, New Jersey. 752.
- Palladino, A.C. 2011. Atención primaria de salud, epidemiología e informática II. Facultad de Medicina. Universidad Nacional del Nordeste. 1-4.
- Pigliucci, M. 2001. Phenotypic plasticity. John Hopkins University Press, Baltimore.
- Ramos Hernández J.G. 2014, Programa Integral Hídrico de Tabasco (PIHT). Comisión Nacional del Agua. México. Octubre 2014. 98.

- Ridley M. 2004. Evolution. Oxford University Press, Oxford, 458 pp.
- Rohlf, F.J. 1992 NTSYSpc, file utility program. Version 2.1. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Rohlf, F.J. 2004 tpsUTIL, file utility program. Version 1.26. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Rohlf, F.J., y L.F. Marcus., 1993. A revolution morphometrics. Trends in Ecology & Evolution, Vol. 8(4). 129-132.
- Rosen, D. E., y L. R. Parenti. 1981. Relationships of *Oryzias*, and the groups of atherinomorph fishes. Amer. Mus. Novitates. 2719:1-25.
- Ruiz R. I., C. Román Valencia, B. E. Herrera, O. E. Peláez y A. Ermakova. 2011. Variación morfológica de las especies de *Astyanax*, subgénero *Zygogaster* (Teleostei, Characidae). Animal Biodiversity and Conservation 34: 47-66.
- Salas, D., D. Véliz y S. Scott. 2012. Diferenciación morfológica en especies del género *Cheirodon* (Ostariophysi: Characidae) mediante morfometría tradicional y geométrica. Gayana. 76(2): 142-152.
- Sepúlveda, J. D. 2012. Análisis por Morfometría Geométrica de *Astyanax* (Pisces: Characidae) en México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Simpson, G. G. 1964, Evolución y Geografía: Historia de la Fauna de América Latina. EUDEBA, Buenos Aires. 87.
- Soria-Barreto, R., R. Rodiles y A. A. González. 2011. Morfometría de las especies de *Vieja* (Cichlidae) en ríos de la cuenca del Usumacinta, Chiapas, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 569-579
- Toro Ibacache M, G. Manríquez Soto y I. Suazo Galdames. 2010. Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. Int. J. Morphol. 28(4):977-90.
- Zelditch, M. L. D.L., Swiderski, H.D., Sheets y W.L. Fink. 2004. Geometric morphometrics for biologists: A primer. Elsevier Academic Press. New York and London, 437.

XIII. ANEXO

Anexo 1. Localidades de los organismos.

Catalogo	Localidad		
3666	Chiapas	Río Lacantún, Ejido Pico de Oro, Chis.	21077 Chiapas Río Lacantún
5618	Chiapas	Laguna Colorada	21077 Chiapas Río Lacantún
8401	Chiapas	Río Lacantún, Ejido Pico de Oro, Chis.	21077 Chiapas Río Lacantún
11499	Chiapas	Macayo 3a. Secc. donde se juntan los ríos Mezcalpa y Samaría, Chis.	21084 Chiapas Río Lacanjá
11527	Chiapas	Corregidora Ortíz, 3a. Secc. Río Mezcalapa, Chis.	21084 Chiapas Río Lacanjá
11708	Chiapas	Corregidora Ortíz, 3a. Secc. Río Mezcalapa, Chis.	21111 Chiapas Río Chajul
11723	Chiapas	Macayo 3a. Secc. donde se juntan los ríos Mezcalpa y Samaría, Chis.	21111 Chiapas Río Chajul
18485	Chiapas	Arroyo San Pablo	21117 Chiapas Río Lacantún
18485	Chiapas	Arroyo San Pablo	21117 Chiapas Río Lacantún
18528	Chiapas	Río Puerto Rico	21117 Chiapas Río Lacantún
18528	Chiapas	Río Puerto Rico	21137 Chiapas Río Lagartos
18528	Chiapas	Río Puerto Rico	21137 Chiapas Río Lagartos
18534	Chiapas	Arroyo San Pablo	21149 Chiapas Río Ixcán
18534	Chiapas	Arroyo San Pablo	21149 Chiapas Río Ixcán
18534	Chiapas	Arroyo San Pablo	Tab 1 Tabasco Río Samaria
18535	Chiapas	Arroyo San Pablo	Tab 2 Tabasco Laguna el Sauzo
18535	Chiapas	Arroyo San Pablo	Tab 3 Tabasco Laguna Concepción
19020	Chiapas	Río Manzanares	Tab 4 Tabasco Laguna Cantemoc
19020	Chiapas	Río Manzanares	Tab 5 Tabasco Laguna Larga
19020	Chiapas	Río Manzanares	Tab 6 Tabasco Laguna el Sauzo
19035	Chiapas	Río Tzendales	Tab 7 Tabasco Río Pichucalco
19035	Chiapas	Río Tzendales	Tab 8 Tabasco Río Samaria
19035	Chiapas	Río Tzendales	Tab 9 Tabasco Río Grijalva
19594	Chiapas	Río Miranda	Tab 10 Tabasco San José
19594	Chiapas	Río Miranda	Tab 11 Tabasco Laguna Concepción
19626	Chiapas	Río Lagartos	Tab 12 Tabasco Laguna el Viento
19626	Chiapas	Río Lagartos	Tab 13 Tabasco Laguna Larga
19626	Chiapas	Río Lagartos	Tab 14 Tabasco Laguna Concepción
20444	Chiapas	Arroyo San Pablo	Tab 15 Tabasco Río Samaria
20444	Chiapas	Arroyo San Pablo	11544 Tabasco Plátano y Cacao 2a. Secc. Río Carrizal, Tab.
20444	Chiapas	Arroyo San Pablo	11544 Tabasco Plátano y Cacao 2a. Secc. Río Carrizal, Tab.
20925	Chiapas	Humedal Lacanja	11556 Tabasco Lázaro Cárdenas, Río Carrizal, Tab.
20925	Chiapas	Humedal Lacanja	11556 Tabasco Buenavista, Río Nuevo 3a. Secc., Río Carrizal, Tab.
20845	Chiapas	Río Ixcán	11556 Tabasco Lázaro Cárdenas, Río Carrizal, Tab.
20845	Chiapas	Río Ixcán	11556 Tabasco Lázaro Cárdenas, Río Carrizal, Tab.
20858	Chiapas	Río Lagartos	11612 Tabasco "Rompido", Río Samaria (antes de la descarga), Tab.
20858	Chiapas	Río Lagartos	11959 Tabasco Campo SEN (dren Victoria) Río González, Tab.
20874	Chiapas	Río Tzendales	11491 Tabasco Macayo 1ra. Sec. Río Mezcalapa, Chis.
20874	Chiapas	Río Tzendales	
20886	Chiapas	Río Chajul	
20886	Chiapas	Río Chajul	