



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA  
Instituto de Biología  
Colección Nacional de Peces**

**Revisión taxonómica del género *Atherinella* Steindachner  
1875 (Teleostei: Atherinopsidae) en Chiapas**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**DANIELA FLORES GRACIAN**



**DIRECTOR DE TESIS:  
M. EN C. HÉCTOR ESPINOZA PÉREZ**

Ciudad de México

2017



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.

## **DEDICATORIA**

A mi familia.

A mi madre Angélica Gracian Amezcua que me enseñó que una mujer puede superarse a pesar de los tropiezos, que me dedico cada día desde mi nacimiento y que me dio su fuerza y cariño.

A mi padre Mario Flores Campos que me apoyo económicamente durante tantos años, y es el proveedor incansable de mi familia.

A mi hermano Luis Mario Flores Gracian, por su apoyo y paciencia para explicarme sobre tecnología.

A la familia Ayala Arronte por todo su apoyo y cariño.

A Alejandro Ayala Arronte por estar a mi lado durante los momentos más difíciles, dándome fuerza para crecer y avanzar cuando no veía el camino, apoyarme incondicionalmente y obligarme a creer en mí.

Al M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo, por darme su ayuda aun sin conocerme, apoyarme y guiarme sin ser su obligación.

A todas aquellas personas que me apoyaron y confiaron en mí: Amy, Carlos, Carla, Jorge, Vero, Martín, Armando, Daniel, Santiago, Etc.

Con todo mi cariño y el más grande agradecimiento.

## **AGRADECIMIENTOS**

**AL INSTITUTO DE BIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**A LA COLECCIÓN NACIONAL DE PECES DEL INSTITUTO DE BIOLOGÍA**

**AL PROGRAMA “DIVERSIDAD DE PECES MEXICANOS” DE LA COLECCIÓN  
NACIONAL DE PECES**

**A NATURA Y ECOSISTEMAS MEXICANOS A.C. (NATURA MEXICANA) POR  
EL APOYO PARA LA ESTANCIA EN LAS ESTACIONES CIENTÍFICAS  
CHAJÚL Y TZENDALES**

**A LOS MIEMBROS DE LA COLECCIÓN DE PECES DE LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA POR TODO SU APOYO**

## CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1 INTRODUCCION .....	3
1.1 Marco Teórico .....	4
1.1.1 Familia Atherinopsidae .....	4
1.1.2 Género <i>Atherinella</i> .....	5
1.1.3 Morfometría tradicional .....	8
1.1.4 Morfometría geométrica .....	9
1.2 Antecedentes .....	11
1.3 Pregunta de investigación .....	13
2 OBJETIVOS .....	14
2.1 Hipótesis .....	15
3 METODOS .....	16
3.1 Sitio de estudio .....	16
3.2 Material .....	18
3.3 Métodos .....	19
3.3.1 Morfometría geométrica .....	19
3.3.2 Morfometría tradicional .....	21
4 RESULTADOS .....	24
4.1 Morfometría geométrica .....	24
4.1.1 Análisis de Componentes Principales .....	24
4.1.2 Análisis de Función Discriminante .....	29
4.1.3 Análisis de Variables Canónicas .....	35
4.2 Morfometría tradicional .....	38
4.2.1 Análisis de Componentes Principales grupos A, B y C .....	38
4.2.2 Comparación con las especies reportadas .....	47
5 DISCUSIÓN .....	56
5.1 Conclusiones .....	61
6 LITERATURA CITADA .....	62
7 ANEXOS .....	66

## RESUMEN

Flores-Gracian D. (2017) *Revisión taxonómica del género Atherinella Steindachner 1875 (Teleostei: Atherinopsidae) en Chiapas* (tesis de licenciatura inédita) Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

El género *Atherinella* contiene 35 especies de agua dulce, salobre y marina; de las especies dulceacuícolas, el estado de Chiapas, México presenta 3: *Atherinella alvarezi*, *Atherinella guatemalensis* y *Atherinella schultzi*, sin embargo, se mencionan posibles confusiones o registros de formas no descritas, generando cuestionamiento sobre la existencia de especies no documentadas o la presencia de plasticidad fenotípica. El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar y comparar morfológicamente las especies dulceacuícolas del género *Atherinella* presentes en el estado de Chiapas. Para ello se evaluaron 101 ejemplares por medio de morfometría geométrica para determinar grupos con características similares y evaluar las diferencias de forma estadística, y morfometría tradicional para analizar los grupos y compararlos. Se confirma la presencia de tres grupos que acumulan el 59% de la variación en los tres primeros componentes, a los cuales se les realizó 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 diferencias al interior de cada grupo. Posteriormente se realiza una comparación con datos bibliográficos correspondientes a las especies reportadas por medio de morfometría tradicional confirmando que los ejemplares analizados no corresponden a las especies reportadas. Estos resultados permiten proponer la existencia de taxones no descritos que presentan una variación morfológica generada posiblemente por procesos evolutivos como adaptación y diversificación. Se aporta nuevo conocimiento taxonómico del género *Atherinella*, en Chiapas, México.

Palabras clave: *Atherinella*, *alvarezi*, *guatemalensis*, *schultzi*, morfometría geométrica.

## ABSTRACT

Flores-Gracian D. (2017) *Revisión taxonómica del género Atherinella Steindachner 1875 (Teleostei: Atherinopsidae) en Chiapas* (tesis de licenciatura inédita) Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

The genus *Atherinella* contains 35 species of fresh, brackish and marine water; of freshwater species, the state of Chiapas, Mexico presents 3: *Atherinella alvarezi*, *Atherinella guatemalensis* and *Atherinella schultzi*, however, possible confusions or records of non-described forms are mentioned, generating questioning about the existence of undocumented species or the presence of phenotypic plasticity. The present study was carried out with the purpose of evaluating and morphologically comparing freshwater species of the genus *Atherinella* present in the state of Chiapas. For this, 101 individuals were evaluated by means of geometric morphometry to determine groups with similar characteristics and to evaluate the differences in statistical form, and traditional morphometry to analyze the groups and to compare them. It is confirmed the presence of three groups that accumulate 59% of the variation in the first three components, which were analyzed discriminant function to determine the differences of the form between the organisms of each group and an analysis of variables canonical to determine differences within each group. Subsequently a comparison is made with bibliographical data corresponding to the species reported by means of traditional morphometry confirming that the specimens analyzed do not correspond to the reported species. These results allow to propose the existence of non - described taxa that present a morphological variation possibly generated by evolutionary processes such as adaptation and diversification. New taxonomic knowledge of the genus *Atherinella* in Chiapas, Mexico is given.

Keywords: *Atherinella*, *alvarezi*, *guatemalensis*, *schultzi*, Geometric morphometry.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los peces constituyen el grupo de vertebrados con mayor riqueza de especies en México, representando el 10.7% del total de peces conocidos en el mundo (Del Moral, 2016). El Orden Atheriniformes está constituido por seis familias distribuidas en los ambientes epicontinentales y marinos del mundo, y de las cuales en nuestro país están presentes dos de ellas, Atherinopsidae y Atherinidae. La primera representa a las especies dulceacuícolas, cuya distribución se restringe al altiplano mexicano; mientras que la segunda está conformada por peces de los ambientes salobre y marino del Golfo de México (Castro-Aguirre y Espinosa-Pérez, 2006).

La familia Atherinopsidae está representada por dos subfamilias, que contienen 13 géneros y aproximadamente 110 especies; particularmente el género *Atherinella* contiene 35 especies de agua dulce, salobre y marina, con cerca de 15 especies marinas y estuarinas y 20 dulceacuícolas de México, Centro y Sudamérica (Nelson *et al.*, 2016). Para el estado de Chiapas se refieren 3 especies pertenecientes a este género: *Atherinella alvarezii*, *Atherinella guatemalensis* y *Atherinella schultzi* (Rodiles-Hernández *et al.*, 2005), sin embargo, se mencionan posibles confusiones o registros de formas no descritas (Espinosa-Pérez *et al.*, 2011), generando cuestionamiento sobre la existencia de más especies no documentadas o si estas especies están presentando plasticidad fenotípica tampoco reportada.

El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar y comparar morfológicamente las especies dulceacuícolas del género *Atherinella* presentes en el estado de Chiapas, bajo la premisa de considerar que los organismos presentan adaptaciones a los microambientes donde se distribuyen y presentan procesos de diversificación espacial, tomando en cuenta las dificultades al determinar organismos.

El estado de Chiapas, cuenta con tres cuencas hidrográficas, de las cuales la más grande e importante es la Grijalva-Usumacinta, que representa el 85.53% de la superficie estatal (INEGI, 2013). Debido al aislamiento de ambientes y su gran diversidad de climas, esta cuenca mantiene una gran diversidad de organismos, así como una alta tasa de endemismos. El proyecto consta de dos fases: morfometría geométrica para determinar grupos de organismos con características similares y evaluar las diferencias de forma estadística, y morfometría tradicional para analizar los grupos y comprarlos.

## **1.1 Marco Teórico.**

La taxonomía, es la ciencia de la clasificación de los organismos, ésta sustentada en los campos de la morfología, fisiología, ecología y genética, entre otros; por lo que depende de una infinidad de campos relacionados; sus técnicas han sido refinadas junto con la tecnología utilizada, así como sus métodos y conceptos. Los peces no están exentos de esta complejidad (Mayr et al., 1953). Siendo su objetivo central la designación, descripción y clasificación natural de los organismos, por lo que es el primer paso en la resolución de cualquier conocimiento biológico.

De las aproximadamente 60,000 especies de vertebrados actualmente conocidos en el mundo, más de la mitad (aproximadamente 32,000) son peces; éstos surgieron y comenzaron a radiar hace 500 mda. y han exhibido a lo largo del tiempo una incomparable diversidad en su morfología, hábitats, fisiología y desarrollo. Esta gran diversidad hace que el establecimiento de una clasificación y el conocimiento de su historia evolutiva sea un desafío (Nelson *et al.*, 2016). México es reconocido como un país mega-diverso, donde los peces constituyen el grupo de vertebrados con mayor riqueza de especies, con un total de 3509 especies conocidas en el país, representando aproximadamente el 10.7% del total de los peces conocidos en el mundo (Del Moral, 2016). Esta diversidad se puede explicar por tres razones: una topografía muy variada debido a una historia geológica larga y cambiante, una conjunción de la región Neártica y Neotropical, y su ubicación entre los océanos Atlántico y Pacífico (Espinosa-Pérez, 2014). De los Estados mexicanos, Chiapas es considerado como el más diverso en cuanto a ictiofauna dulceacuícola, sin embargo se conoce poco acerca de su diversidad, siendo documentadas hasta el momento 115 especies, por lo que es el Estado con más especies dulceacuícolas registradas en los últimos años (Espinosa-Pérez *et al.*, 2011), entre ellas se encuentran los “plateaditos del nuevo mundo” pertenecientes al género *Atherinella* Steindachner 1875, y que son el centro de estudio de la presente investigación.

### **1.1.1 Familia Atherinopsidae.**

Los peces de la familia Atherinopsidae se caracterizan por presentar dos aletas dorsales bien separadas, la primera con 2 a 9 espinas, aletas pectorales insertadas en la parte media alta del

cuerpo, en posición dorsal (Miller *et al.*, 2009), cuerpo semi translucido en fresco, con una línea lateral plateada; se diferencian de los atherínidos por tener la premaxila protráctil (generalmente muy protráctil), su longitud máxima en la mayoría de los adultos es alrededor de 15cm. Los peces de esta familia son los únicos atheriniformes en el Nuevo Mundo, excepto por *Notocheirus* y unos pocos atherínidos (Nelson *et al.*, 2016).

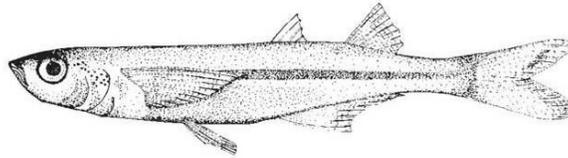
Los atherinópsidos han sido clasificada en dos subfamilias: la Atherinopsinae y Menidiinae. De la subfamilia Menidiinae algunas especies son de clima templado, pero son principalmente tropicales con muchos miembros de agua dulce en México y Centroamérica. Se divide en dos tribus. Menidiini que contiene los géneros *Menidia*, *Chirostoma*, *Poblana* y *Labidestes*; y Membradini que Chernoff (1986) basado en hipótesis filogenéticas reclasifico en 3 géneros: *Membras*, *Atherinella* y *Melanorhinus* (Chernoff, 1986). El género *Atherinella* contiene 35 especies de agua dulce, salobre, y marina, con cerca de 15 especies marinas y estuarinas y 20 dulceacuícolas de México, Centro y Sudamérica (Nelson *et al.* 2016).

### 1.1.2 Género *Atherinella*.

El género *Atherinella*, Steindachner 1875 se encuentra distribuido en la costa del Atlántico desde el sur de México hasta el sur de Brasil, y por la vertiente del pacífico, desde el norte de México hasta Perú. Sus especies se distinguen por tener el origen de la aleta dorsal espinosa posterior al origen de la aleta anal, el sistema rostro-sensorial en forma de puntos, surcos o tubos y el brazo alveolar de la premaxila reducido en anchura y su extremo distal ampliado (Chernoff, 1986).

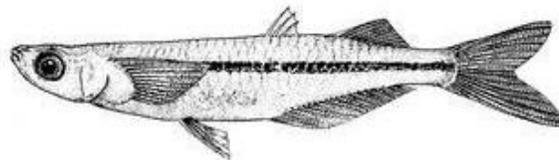
*Atherinella alvarezii* (Díaz-Pardo, 1972) tiene la primera aleta dorsal con 3 a 5 espinas y segunda aleta dorsal con 1 espina y 7 a 10 radios. La aleta anal tiene 1 espina y 19 a 22 radios. La Longitud Cefálica cabe 3.4 a 4 veces en la LP y la altura máxima cabe 4.8 a 5.3 veces en la LP. La longitud de las aletas pectorales es igual que la Longitud Cefálica. Cuerpo grácil, moderadamente comprimido, boca terminal, mandíbula superior igual que la inferior en el borde anterior, o la inferior poco menor, de 36 a 39 escamas en una serie longitudinal. Peces pequeños, la longitud del pedúnculo caudal cabe 5.6 a 6.5 veces en la LP, la altura del pedúnculo caudal cabe 2 veces aproximadamente en la longitud del mismo. La distancia

predorsal cabe 1.6 a 1.7 veces en la LP, aproximadamente igual a la distancia preanal. Origen de la primera aleta dorsal equidistante de la base de la caudal y el borde del opérculo. La distancia postdorsal cabe 2.2 a 2.4 veces en la LP y aproximadamente igual a la distancia post anal (Díaz-Pardo, 1972).



**Figura 1. Esquema de *Atherinella alvarezii* (Díaz-Pardo, 1972), tomado de Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales.**

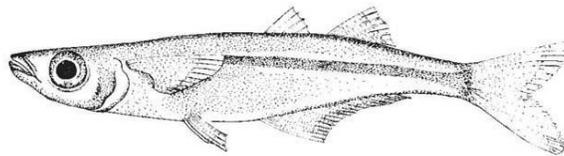
*Atherinella guatemalensis* (Günther, 1864) se caracteriza por tener la longitud de las aletas pectorales mayor que la Longitud Cefálica, origen de la aleta dorsal espinosa sobre el 6° radio de la aleta anal, la Longitud Cefálica cabe 4.2 a 4.8 veces en la LP. Se distribuye en la costa del pacifico de Centroamérica. Tiene 6 escamas transversales, dientes mesopterigoideos, carente de dientes vomerinos (Díaz-Pardo, 1972). Vaina de la aleta anal ausente o rudimentaria, cuerpo moderadamente profundo anteriormente, comprimido lateralmente, igual que o mayor a la anchura del interorbital; brazo alveolar de la premaxila truncado, con el margen dorsal relativamente recto y corto, proceso ascendente robusto. Es de longitud moderada, alcanza los 75 mm de LP, pedúnculo caudal más largo que ancho, Longitud Cefálica menor al 25 % de la LP., hocico apuntando anteriormente, punta de la cabeza plana a ligeramente convexa, con la premaxila formando un hocico estrechamente parabólico (Chernoff, 1986).



**Figura 2. Esquema de *Atherinella guatemalensis* (Günther, 1864), Tomado de Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales.**

*Atherinella schultzi* (Alvarez y Carranza, 1952) posee el margen posterior de la mandíbula que se extiende más allá de la vertical a través del margen anterior de la órbita, branquiespinas en el primer arco 12 a 18. (Fisher, *et al.*, 1995). Escamación variable, incompleta en la parte anterior, a menudo faltan justo posterior a la base de la aleta pectoral, de 36 a 39 escamas en

una serie longitudinal (Espinosa-Pérez, *et al.*, 2011). Hocico puntiagudo, longitud de la premaxila mayor al 10.8 % de la LP y longitud de la mandíbula mayor al 10.7 % de la LP. Dentario que se une a la mandíbula superior encima de la mitad del nivel de la órbita. Mandíbula inferior incluida en la maxila superior. Sistema rostro sensorial con tubos que se unen medialmente y tienen un solo poro posterior, los pozos antero laterales aparecen como poros, ya que están conectados por tubos a las estructuras mediales. La membrana interrredial de la segunda aleta dorsal en incolora a excepción de melanóforos. Supera los 70 mm de LP (Chernoff y Miller, 1984).



**Figura 3. Esquema de *Atherinella schultzi* (Alvarez y Carranza, 1952), tomado de Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales.**

Al seguir las claves y a pesar de los esfuerzos por aclarar la taxonomía de este grupo, sigue siendo difícil la determinación de estos organismos, ya que los caracteres diagnósticos de las especies reportadas se superponen, son ambiguos y difíciles de observar. Por ejemplo, algunos de los caracteres que se toma en cuenta en la mayoría de las claves son la cantidad de escamas en una serie longitudinal donde *A. alvarezzi* cuenta con 36 a 39, *A. guatemalensis* con 35 a 40 y *A. schultzi* con 37 a 39 (se superponen); o la cantidad de escamas en serie transversal donde *A. alvarezzi* se reporta con 9 ½, *A. guatemalensis* con 6 y *A. schultzi* con 10 a 11 (la mayoría de los organismo indeterminados cuentan con 7); o la forma de la mancha occipital en donde aparece en *A. alvarezzi* formando una U o una V, en *A. guatemalensis* en forma de corazón con la muesca sin pigmentar y *A. schultzi* con una manchita clara en el centro, o en forma de V abierta (formas muy similares); o la estructura del sistema rostro sensorial (sistema en extremo difícil de observar)(Alvarez y Carranza, 1952), (Chernoff, 1986), (Chernoff y Miller, 1984), (Díaz-Pardo, 1972), (Espinosa-Pérez *et al.*, 2011) y (Miller *et al.*, 2009).

Esta problemática puede ser solucionada por el perfeccionamiento de los métodos y conceptos del trabajo taxonómico, estos cambios involucran desde la unidad taxonómica representada por una muestra o “serie” y no por un solo organismo, revisiones taxonómicas realizadas con las subdivisiones de las especies, la búsqueda de la descripción, medición y

evaluación de la variación no solo entre especies, sino en poblaciones que involucren muchas localidades a través de la gama de una especie, hasta la evaluación con métodos de análisis de población y estadística (Myer *et al.*, 1953).

### **1.1.3 Morfometría tradicional.**

Desde los inicios de la biología la descripción morfológica de los organismos y el análisis de las diferencias entre ellos se hacía de manera cualitativa por medio de descripciones morfológicas simples que producen como resultado imágenes con descripciones detalladas. A inicios del siglo XX ocurrió una transición, cambiando de estudios descriptivos a una ciencia más cuantitativa (López, 2015).

Las técnicas cuantitativas han sido ampliamente utilizadas para, ya sea, discriminación entre sexos y especies, descripción de patrones de variación morfológica entre poblaciones y especies, o clasificación filogenética. Estas técnicas se basan en características morfométricas (medibles en milímetros) y merísticas (contables) (Schreck y Moyle, 1990). El uso de métodos estadísticos se ha convertido en una parte estándar en la taxonomía, y se está convirtiendo en la técnica más ampliamente utilizada, sin dejar de depender de la morfología comparativa (Myer *et al.*, 1953).

La Morfometría, considerada como “el estudio cuantitativo de la variación de las formas biológicas” es la herramienta cuantitativa que resulto de esta evolución metodológica y conceptual. Actualmente existen dos tipos de morfometría, la morfometría tradicional y la morfometría geométrica, ambas utilizan análisis estadísticos multivariados, pero producen diferentes resultados (López, 2015).

La morfometría tradicional (considerada como una rama del análisis matemático de la forma) es la herramienta cuantitativa para abordar formas y compararlas, utilizando análisis estadísticos multivariados como análisis de componentes principales, de variables canónicas y función discriminante (Toro *et al.*, 2010) que producen como resultado tablas de números abstractos y graficas que describen los patrones de variación morfológica.

#### 1.1.4 Morfometría geométrica.

La morfometría geométrica es el resultado de la emulsión entre morfometría y morfología generando imágenes fáciles de interpretar, que ilustran las diferencias en la forma basados en los mismos análisis matemáticos, pero produciendo una descripción precisa y adecuada. 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” es el núcleo de la teoría subyacente a la morfometría geométrica (Zelditch *et al.*, 2004). Esto se logra gracias a la aplicación de técnicas biométricas, instrumentos y programas computacionales que permiten la captura y análisis de datos en forma de matrices de morfo coordenadas, permitiendo el uso de datos multidimensionales y por lo tanto, el análisis geométrico de la forma.

El análisis consta de tres etapas: obtención de datos primarios, obtención de variables de forma y análisis estadístico (Toro *et al.*, 2010).

Los datos primarios corresponden al conjunto de puntos digitalizados o características anatómicamente localizadas que representan la forma (Landmarks, hitos o puntos), que son transformados en un par de coordenadas cartesianas (X, Y). Los Landmarks ideales son loci anatómicamente homólogos, que no alteren sus posiciones topológicas con respecto a otros Landmarks, que proporcionen una cobertura adecuada de la morfología, que se puedan encontrar repetida y fiablemente y que sean visibles en el mismo plano (Schreck y Moyle, 1990).

La obtención de variables de forma se refiere a una serie de procedimientos geométricos basados en la definición de forma, que retiran los efectos de escala, posición y rotación, generando una configuración consenso que resume la variación geométrica de la muestra. Estos son las distancias de Procrustes basado en un ajuste por mínimos cuadrados.

Los análisis estadísticos dependen del objetivo del análisis, pueden ser utilizados ya sea como análisis exploratorios, confirmatorios de covariación de la forma o confirmatorios de factores causales (Toro, *et al.*, 2010).

Los análisis estadísticos multivariados se pueden utilizar con el objetivo de detectar grupos, verificar hipótesis relacionadas con la presencia de grupos definidos a priori o comparar las variaciones entre ellos. Estos se utilizan para reducir las dimensiones del conjunto de datos, eliminar las correlaciones entre los caracteres y calcular los patrones de mayor variación.

Estos se pueden dividir en dos, los que consideran el total de la muestra como un grupo y los que consideran particiones o grupos definidos *a priori*.

Los primeros se utilizan para detectar subdivisiones dentro de una muestra considerada como un solo grupo, son útiles ya que permiten observar las ordenaciones de los individuos en el espacio multivariado de la conformación, un ejemplo es el Análisis de Componentes Principales, este análisis es una combinación lineal de las variables de forma, para obtener nuevas variables que representan porciones progresivamente decrecientes de la variación original. Los primeros dos o tres componentes representan la mayor porción de la variación. Sobre ellos se pueden proyectar los especímenes para explorar la formación de nubes de individuos de características similares. En base a sus resultados se puede hacer un análisis discriminante.

En el análisis discriminante se ordenan los grupos en graficas de dispersión, mostrando la mayor separación posible entre ellos y minimizando la variación intragrupos. Se pueden calcular las distancias de Mahalanobis que señalan que tan distante se encuentra cada individuo de los centroides del grupo (probabilidad de pertenecer al grupo).

El segundo tipo de análisis considera grupos definidos por el investigador *a priori*, y se utilizan para verificar la estructura de los grupos ya definidos, resultan en valores de significancia que verifican o rechazan las diferencias entre los grupos. Un ejemplo es el Análisis de Variables Canónicas que encuentra transformaciones lineales de los datos para maximizar la separación entre los grupos. Este resume en sí mismo el Análisis de componentes principales, el análisis multivariado de varianza, manova, y el cálculo de funciones discriminantes.

Cuando se desea conocer si existen diferencias significativas entre la conformación de grupos se calculan distancias euclidianas entre los grupos, se permuta varias veces la matriz de distancias y la correlación múltiple, se acepta la no diferencia entre los grupos si igualan o superan el nivel de significancia convencional (0.05) (Jaramillo, 2011).

## 1.2 Antecedentes.

El primer acercamiento al conocimiento de las especies aquí estudiadas es dado por Günther (1864) que describe a la especie *Atherinichthys guatemalensis* de los lagos de Huamuchal, Guatemala, ésta posteriormente fue colocada como *Menidia guatemalensis* por Jordan y Evermann en 1896, *Thyrina guatemalensis* por Jordan y Evermann en 1898, *Thyrinops guatemalensis* por Schultz 1948, *Melaniris guatemalensis* por Miller en 1966 y *Chirostoma guatemalensis* por Astorqui en 1974.

Posteriormente Alvarez y Carranza (1952) describen a *Xenatherina schultzi* de los tramos superiores del río Coatzacoalcos en Oaxaca, México. Los datos morfométricos que presenta fueron usados para la comparación morfométrica de este trabajo.

Por último, Díaz-Pardo (1972) presenta la descripción de *Thyrinops alvarezii*, capturada en los ríos Tacotalpa, Cunduacán y González, cuenca del río Grijalva, en las cercanías de Villa Hermosa, Tabasco, México, donde provee una comparación con las especies cercanas entre las cuales figura *A. guatemalensis* dejando claras las diferencias morfológicas entre ambas especies (estos datos se usaron en este trabajo para la comparación morfométrica).

Uno de los trabajos más importantes fue el de Chernoff (1986) que realizó una revisión sistemática de los atherínidos de América donde provee de: una estandarización de mediciones útiles para el grupo, nuevas hipótesis filogenéticas que apoyan la monofilia del grupo, claves de identificación, análisis morfométricos y descripciones de las especies. Basado en estas hipótesis filogenéticas, reclasifico a los a los pejerreyes de la tribu Membradini en 3 géneros: *Membras*, *Atherinella* y *Melanorhinus*. Las tres especies referentes a este trabajo fueron colocadas dentro del género *Atherinella*. Esta clasificación es la actualmente aceptada. La elección de medidas para este trabajo fue en parte, basada en las usadas por Chernoff, así como los datos para la comparación morfométrica de *A. guatemalensis* fueron tomados de este texto.

Siguiendo la misma línea, Chernoff y Miller (1984) describen a *Atherinella ammophila*, separándola de *Atherinella schultzi* y *Atherinella lisa* por medio de análisis morfométricos. Mencionan que las poblaciones de *A. schultzi* son variables y pueden comprender taxones sin describir, pero el patrón de variación está lejos de ser claro. Utilizan el Análisis de componentes principales para estimar las diferencias de forma entre los taxones, tal como se hace en el presente trabajo.

Después, Castro-Aguirre *et al.* (1999) presentan un catálogo de los peces estuarino lagunares de México, reportando que las especies de atheriniformes muestran una gran homogeneidad morfológica y de comportamiento, lo que se traduce en confusión de tipo nomenclatural y taxonómica, así como gran dificultad en el reconocimiento de límites específicos y genéricos, y que la mayoría de las formas tropicales (a las que pertenecen las especies de este trabajo) permanecen todavía mal conocidas desde el punto de vista sistemático, por lo que es necesario realizar un mayor número de investigaciones. Específicamente refiriéndose al género *Atherinella* refiere que a pesar de las revisiones de Chernoff, el género se encuentra mal conocido sistemáticamente, por lo que todo intento de separación a nivel específico se debía considerar provisional. Provee una clave de identificación mencionando que es “ciertamente provisional” donde incluye a *A. guatemalensis* y describe su comportamiento ecológico.

Para 2006, Castro-Aguirre y Espinosa-Pérez hacen una revisión de los peces de la familia Atherinopsidae en México, resultante del análisis anterior.

Como resumen de los estudios anteriores, Espinosa-Pérez *et al.* (2011) como parte del libro *Chiapas, estudio sobre su diversidad biológica*, presentan un listado de las especies dulceacuícolas del Estado de Chiapas, donde mencionan que el género *Atherinella* está representado en el Estado por más de 4 especies, varias de ellas aun no descritas por la ciencia, menciona la presencia de 4 especies reportadas, *A. alvarezi* posiblemente con formas no descritas, *A. guatemalensis*, *A. Sallei*, posiblemente confundida y sea una especie no descrita y nueva para la ciencia y el Estado, y *A. schultzi*, constituida por un complejo de formas que pudiesen ser asignadas a nuevas especies. Este texto resume de manera clara la problemática planteada en este trabajo.

Uno de los trabajos más modernos y polémicos es el de Bloom *et al.* (2012) donde presentan un controversial análisis molecular de los atheriniformes, donde se incluye siete de las 8 familias (incluyen a la familia Atherinopsidae, incluso utilizan a *A. guatemalensis* dentro de sus análisis) en base a la secuenciación y análisis de dos genes (RAG 1 y *cytb*) determinan que el grupo es, al contrario de todos los estudios previos, polifiletico.

Para este trabajo se siguió la clasificación expuesta en Nelson *et al.* (2016) que toma en cuenta los trabajos de Chernoff y la monofilia del grupo. (Anexo 1)

### **1.3 Pregunta de investigación.**

¿Puede la morfometría geométrica ayudar a distinguir variaciones morfométricas en los peces dulceacuícolas del género *Atherinella* de Chiapas?

## **2. OBJETIVOS**

### **General**

Realizar una revisión taxonómica de las especies dulceacuícolas del género *Atherinella* de Chiapas mediante la morfología tradicional y morfometría geométrica.

### **Particular**

Reconocer las variaciones morfológicas y morfométricas de los organismos y compararlo con las descripciones de especies reportadas para evaluar posibles variaciones.

## 2.1 Hipótesis

H0. Los organismos no presentan variación y sus características concuerdan con las especies reportadas

Ha. Los organismos presentan variación y/o sus características no concuerdan con las especies reportadas, pudiendo corresponder a especies diferentes.

### 3. MÉTODOS

#### 3.1 Sitio de estudio.

El Estado de Chiapas, se ubica en la porción Sureste de la República Mexicana. Limita al Norte, con el estado de Tabasco, al Sur con el Océano Pacífico y la República de Guatemala, al Este con la República de Guatemala, y al Oeste con el estado de Oaxaca y Veracruz. Su extensión territorial es de 73,985.42 km<sup>2</sup> que corresponde a un 3.8% de la superficie nacional; comparte cuatro cuencas transfronterizas con la República de Guatemala, las cuales son los Ríos Suchiate, Coatán, Grijalva y Usumacinta. Más de la mitad de su territorio, el 54%, presenta clima Cálido húmedo, el 40% clima Cálido subhúmedo, el 3% Templado húmedo y el 3% restante tiene clima Templado subhúmedo. La temperatura media anual, varía dependiendo de la región, de 18°C en los Altos de Chiapas, a 28°C en la Llanura Costeña. La temperatura promedio más alta es de 30°C y la mínima de 17.5°C. La región norte del estado presenta lluvias todo el año, en el resto de la entidad, abundantes lluvias en verano. La precipitación total anual varía, dependiendo de la región, de 1 200 mm a 4 000 mm (INEGI, 2013).

En el estado de Chiapas se localizan de manera parcial dos Regiones Hidrológicas (RH), la RH 23 Costa de Chiapas (14.98%), y la RH 30 Grijalva-Usumacinta (85.02%). En el estado, las dos regiones hidrológicas están compuestas por cinco subregiones hidrológicas: Costa de Chiapas, Alto Grijalva, Bajo Grijalva, Usumacinta, y Grijalva Usumacinta. La red de ríos se puede dividir en dos vertientes, el Golfo de México y el Océano Pacífico. Para el Golfo de México fluyen dos de los ríos más caudalosos de México, el Grijalva y el Usumacinta. El río Grijalva recibe aguas de más de una veintena de corrientes, entre las cuales están San Miguel, San Vicente, La Concordia, Santo Domingo y Suchiapa. Por otra parte, el río Usumacinta sirve como frontera natural entre México y Guatemala, y crece el escurrimiento con la afluencia del río Lacantún, que a su vez recibe las aguas del río Jataté. El estado se caracteriza por ser uno de los estados más abundantes en recursos hídricos a nivel nacional, está hidrológicamente integrado por 81 cuencas hidrográficas (SEMARNAT, 2013)

## Área de estudio



Figura 4. Georreferencia de los organismos, incluye grupos (Ver resultados)

### 3.2 Material.

Para este estudio se revisaron 101 organismos de *Atherinella* colectados en el Estado de Chiapas pertenecientes a la Colección Nacional de Peces del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México que corresponden a 40 números de catálogo (Anexo 3), se tomaron los organismos más recientemente colectados (del 4 de febrero del 2015 al 3 de mayo del 2016) y conservados en alcohol etílico al 70%, para evitar errores en los análisis provenientes de la fijación descritos en Schreck y Moyle (1990), todos ellos etiquetados como *A. alvarezii* (el personal menciona que por dificultades de identificación todos los organismos colectados son etiquetados como *A. alvarezii*). A pesar de que se tomaron para analizar los organismos de mayor tamaño, las LP van de 2.1 cm a 5.9cm. El material fue revisado y se identificó con las claves de Miller *et al.* (2009) y (Fischer, *et al.*, 1995) con las que es posible determinar el género, pero no la especie, por lo que, en los análisis siguientes, se trata a toda la muestra como un solo grupo.

El material pertenece a las siguientes localidades, los números entre paréntesis corresponden a la cantidad de ejemplares de la localidad correspondiente: Río Tzendales (5), Arrollo San Pablo (10), Río Chajul (15), Río Ixcán (8), Río Manzanares (13), Río Lagartos (10), Arrollo San José (8), Río Puerto Rico (7), Río Miranda (8), Brazo del río Lacantún junto al arroyo Chajul (Chajulillo) (3), Río Ixcán frente al embarcadero de El Ixcán (3), Humedal Lacanja (4), Río José (3) y Río Lacanjá (4).

Las muestras que conforman este trabajo pertenecen a la parte sureste del Estado de Chiapas, es decir, se encuentran dentro de la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta, subregión hidrológica 30C Usumacinta, cubriendo las cuencas hidrográficas 59, 60, 61, 62, 63, 68 y 70 (DOF, 2010).

Se revisaron las descripciones originales y trabajos posteriores, con el objetivo de caracterizar las especies reportadas para la zona, elegir las variables adecuadas para los análisis y contar con un parámetro para comparar los resultados. (Anexo 2).

### 3.3 Métodos.

#### 3.3.1 Morfometría geométrica:

Para la selección de Landmarks (puntos digitalizados) se tomaron en cuenta los criterios básicos para peces descritos por Hubbs y Lagler (1958), y se modificaron considerando las descripciones de las especies y trabajos realizados con ejemplares de la misma familia por Foster *et al.* (2015), siempre cuidando los criterios de selección de Homología, consistencia en la posición relativa, cobertura adecuada de la forma, repetitividad y coplanaridad (Toro *et al.*, 2010). Los Landmarks seleccionados se observan en la figura 5:

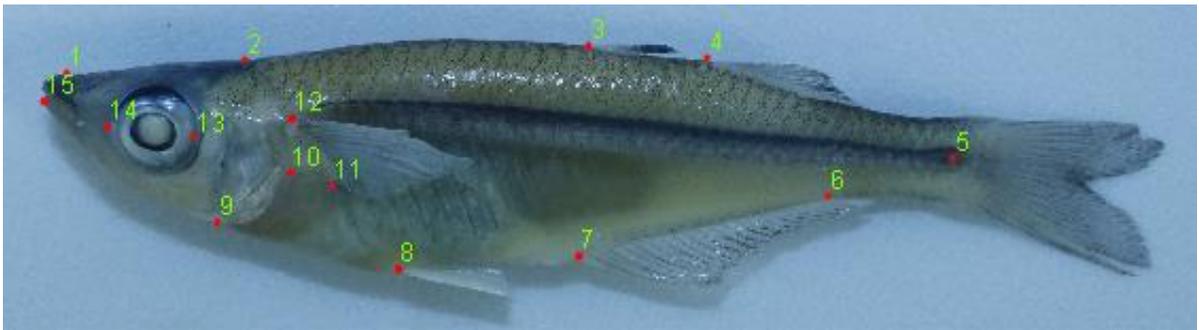


Figura 5. Localización de los Landmarks en un organismo.

**Tabla 1. Localización de los Landmarks.**

<b>Número</b>	<b>Landmark</b>
1	Origen de la premaxila.
2	Borde posterior del occipital.
3	Origen de la primera aleta dorsal.
4	Origen de la segunda aleta dorsal.
5	Margen posterior de la placa hipural.
6	Termino de la aleta anal.
7	Origen de la aleta anal.
8	Origen de la aleta pélvica.
9	Intersección de la abertura branquial y el margen ventral del cuerpo.
10	Punta del margen posterior del opérculo.
11	Origen ventral de la aleta pectoral.
12	Origen dorsal de la aleta pectoral.
13	Extremo anterior del ojo.
14	Extremo posterior del ojo.
15	Punta de la mandíbula inferior.

De los 101 ejemplares revisados, 27 se encontraban eviscerados, lo que no afectó las mediciones y conteos, pero si modificó la forma del ejemplar, por lo que se eliminaron para este análisis. Los 74 ejemplares restantes se fotografiaron con una cámara marca Canon modelo EO5 Rebel TL1 de 18 mega pixeles, mostrando la imagen lateral del ejemplar, como base se usó papel blanco y se acompañó con una escala.

Las fotografías con formato JPG se ingresaron en el programa tpsUtil (Rohlf, 2004) para convertirlas en formato. tps y generar un archivo, se recordará que no se separaron grupos a priori. Posteriormente los archivos se ingresaron al programa tpsDIG2 (Rohlf, 2004) donde se aplicaron los 15 Landmarks a cada imagen, generando un archivo que contiene estos Landmarks en forma de morfo coordenadas (X, Y).

Este archivo se ingresó al programa MorphoJ (Klingenberg, 2011), en este se realizó un ajuste de Procrustes retirando los efectos de escala, posición y rotación. Posteriormente se generó una matriz de correlación (a partir de este punto los datos que se manejan son adimensionales) con la cual se llevó a cabo el Análisis de componentes principales para

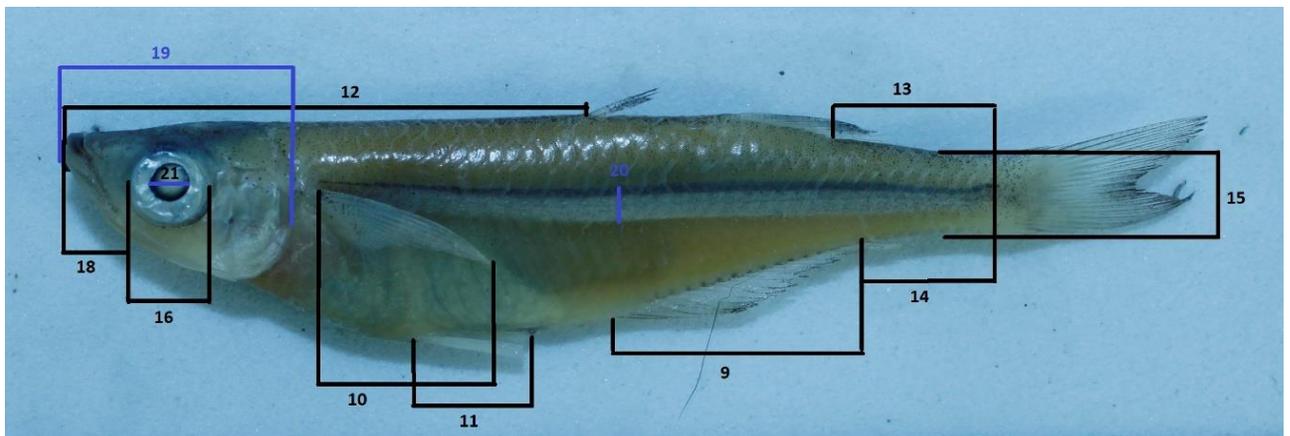
determinar la presencia o no de grupos dentro de la muestra, subsecuentemente se realizó un Análisis de función discriminante que permitió observar si existía entrecruzamiento entre estos grupos. Por último, se efectuó un Análisis de variables canónicas para observar las diferencias entre los grupos.

### **3.3.2 Morfometría tradicional:**

La figura 6 muestra la selección de características morfométricas y merísticas de importancia taxonómica, basadas en las descripciones originales de las especies: Günther (1864), Alvarez y Carranza (1952) y Díaz-Pardo (1972), porcentajes usados para separación de las mismas y en observaciones de los ejemplares; con el fin de estandarizar el estudio y eliminar el efecto del tamaño, se transformaron las longitudes en proporciones, ya sea de la Longitud patrón o de la Longitud cefálica, según fuera el caso.

**Tabla 2. medidas tomadas para morfometría tradicional.**

	<b>Medida</b>
1	Escamas en serie longitudinal.
2	Escamas en serie transversal.
3	Escamas predorsales.
4	Espinas de la primera aleta dorsal.
5	Radios de la segunda aleta dorsal.
6	Radios de la aleta anal.
7	Origen de la primera aleta dorsal con respecto a los radios de la aleta anal.
8	Radios de la aleta pectoral.
9	Longitud de la aleta anal / Longitud patrón.
10	Longitud de la aleta pectoral /Longitud patrón.
11	Longitud de la aleta pélvica /Longitud patrón.
12	Distancia predorsal /Longitud patrón.
13	Distancia postdorsal / Longitud patrón.
14	Longitud del pedúnculo caudal /Longitud patrón.
15	Altura del pedúnculo caudal /Longitud patrón.
16	Diámetro ocular /Longitud cefálica.
17	Espacio inter orbital/ Longitud cefálica.
18	Longitud del hocico /Longitud cefálica.
19	Longitud cefálica /Longitud patrón.
20	Ancho de la estola /longitud patrón.
21	Diámetro de la pupila /Longitud cefálica.



**Figura 6. Medidas morfométricas observables en vista lateral.**

Puesto que el tamaño de los ejemplares es pequeño en general, se usó un microscopio marca ZeissStemi SV 6 y un vernier para realizar los conteos.

Con estos datos se elaboró un análisis de Componentes Principales con el programa NTSYSp2.1 (Rohlf, 1992) para corroborar los grupos anteriormente obtenidos, y extrapolarlos a la de muestra de 101 ejemplares.

Posteriormente se elaboraron graficas de caja y bigote para comparar visualmente los resultados y corroborar la diferencia morfológica.

Se obtuvieron los datos morfométricos y merísticos de las especies reportadas por medio de los textos de Díaz-Pardo (1972), Chernoff y Rush (1984), Alvarez y Carranza (1952). Esto con la finalidad de comparar los grupos obtenidos en los análisis anteriores con las especies reportadas, y determinar si pertenecen o no a éstas, para esto se realizó un Análisis de componentes principales y uno de función discriminante con el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001), con los datos tanto de las especies reportadas como los obtenidos en este trabajo.

Posteriormente se elaboraron gráficas de caja y bigote para comparar visualmente los resultados y observar la diferencia morfológica.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Morfometría geométrica.

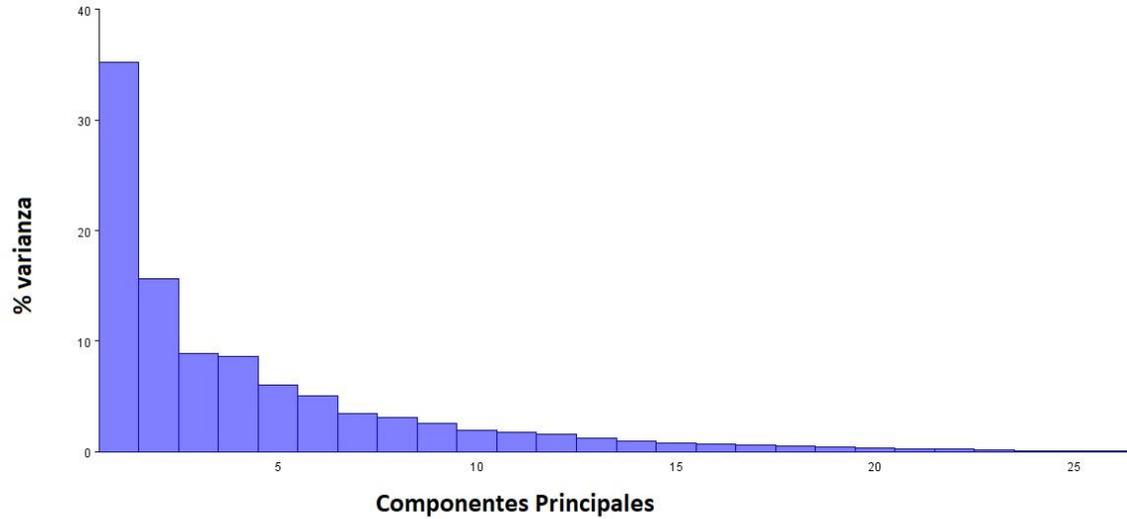
#### 4.1.1 Análisis de componentes principales.

Una vez que los datos de los 74 ejemplares fueron ingresados al programa, y el ajuste de Procrustes fue hecho, se realizó un Análisis de componentes principales (ACP) con el total de la muestra (sin grupos *a priori*).

Como se observa en la tabla 3, el ACP resultó con 26 componentes principales que explican el 100% de la variación observada, solo los dos primeros representan más del 15% de la variación cada uno y con los cuatro primeros queda explicado más del 65%. Los 22 componentes restantes explican menos del 7% cada uno (Figura 7).

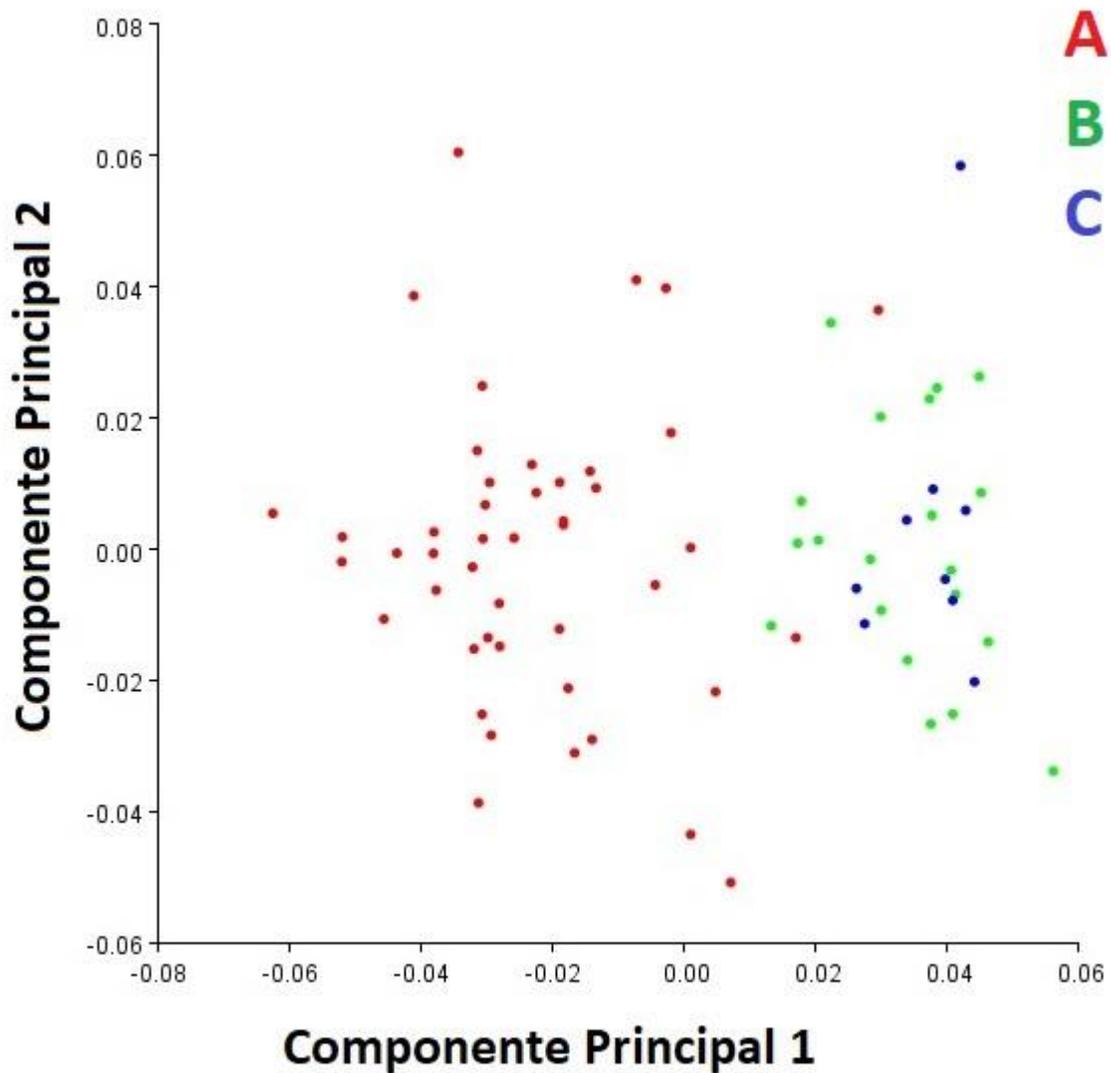
**Tabla 3. Valores de los cinco primeros componentes principales.**

	<b>Valores propios</b>	<b>% varianza</b>	<b>%acumulativo</b>
<b>1</b>	0.00105089	35.23	35.23
<b>2</b>	0.00046771	15.68	50.91
<b>3</b>	0.00026465	8.87	59.79
<b>4</b>	0.00025655	8.60	68.39
<b>5</b>	0.00018016	6.04	74.43



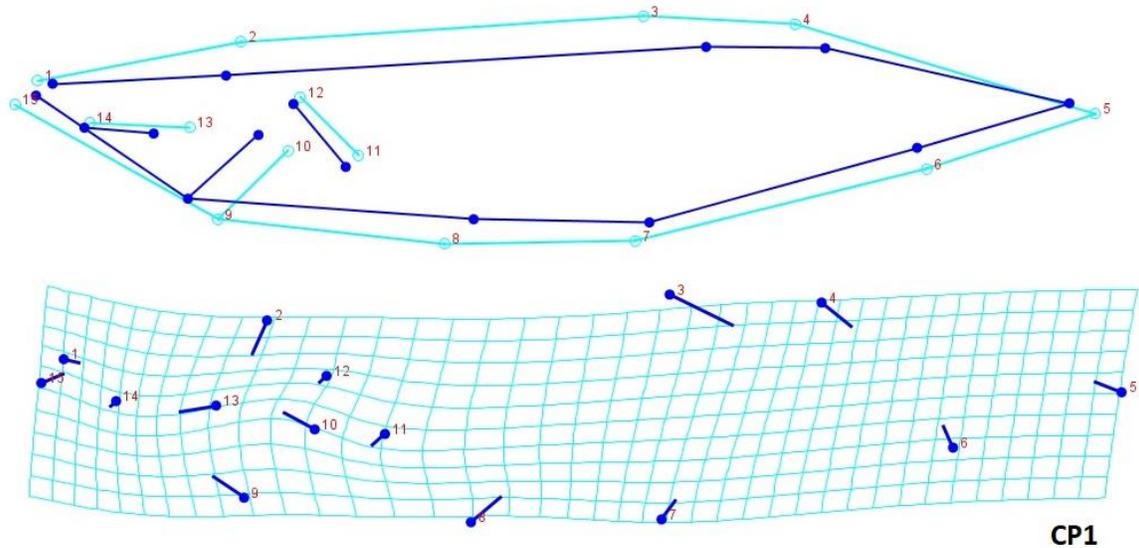
**Figura 7. curva de acumulación de porcentaje del ACP.**

En la figura 8 se observa el resultado del contraste entre el primer y segundo componente principal, para efectos visuales se seleccionó un color para cada uno de los grupos resultantes, a pesar de que hay una superposición en dos de los tres (B-C), se puede observar que existe una tendencia hacia los extremos. El grupo A contiene a la mayor cantidad de organismos, contando con 45 que claramente se agrupan del lado negativo de las X, seguido por el grupo B que cuenta con 20 organismos que, a pesar de que se cruzan con los 9 del grupo C, tienen una tendencia a agruparse en el extremo negativo de las Y, mientras que el C tiende hacia el extremo positivo.



**Figura 8. primer contra segundo componente principal. Formación de grupos A, B y C**

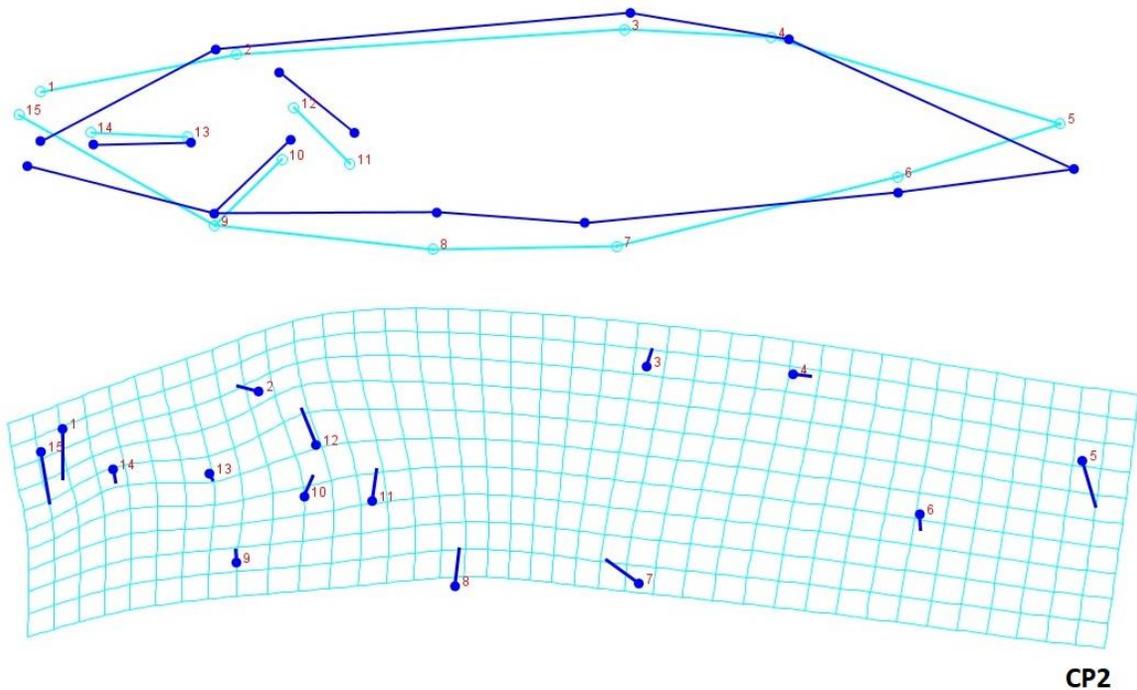
El primer componente principal define el 35.23% de la variación total. En la figura 9 se observa que este componente agrupa cambios principalmente en los puntos que generan la silueta, haciéndose más angosta, los puntos 3 y 4 se mueven además hacia la parte posterior, cambiando la relación con el punto 7. El punto 9 y 10 se mueven hacia la parte anterior, mientras que los puntos 13 y 14 se acercan entre sí.



**Figura 9. Entramado y gradilla de deformación del primer componente.**

Estos cambios involucran una altura corporal menor, desde la cabeza (punto 2) hasta las aletas dorsales, que se mueven hacia la parte posterior del organismo aumentando por lo tanto la distancia pre dorsal, y disminuyendo el ángulo que forman con la base de la aleta anal. La parte cefálica se ve profundamente modificada, empezando por la disminución del diámetro ocular y la altura de la cabeza, y el corrimiento del hueso opercular y la aleta pectoral hacia la parte anterior.

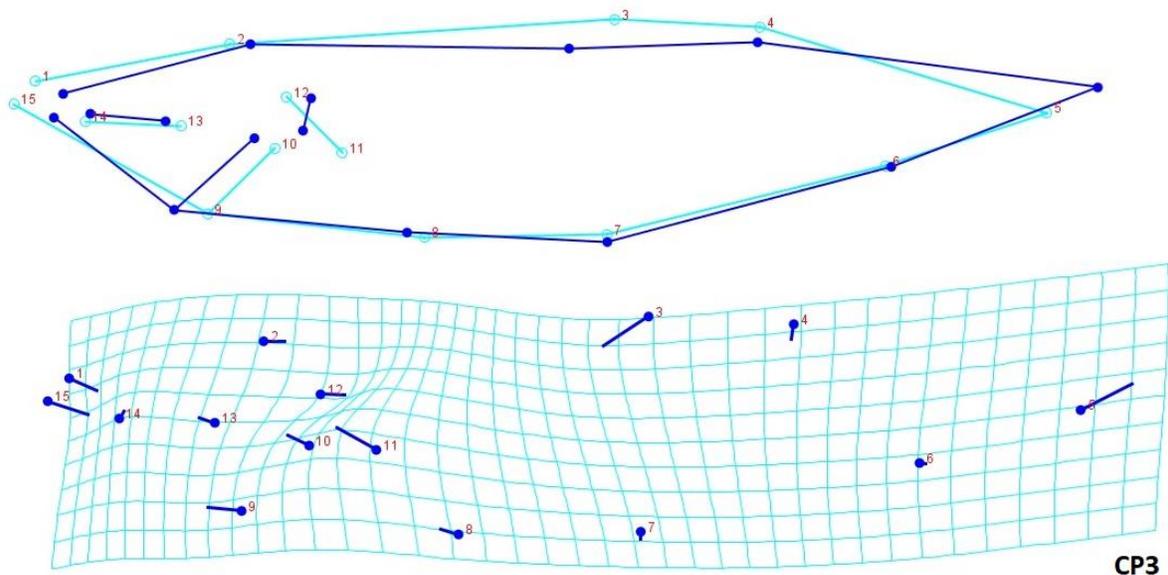
El segundo componente principal explica el 15.68% de la variación de la muestra. Este componente agrupa cambios principalmente en la posición de la cabeza y el pedúnculo caudal. Se observa el mayor corrimiento en los puntos 1 y 15, que bajan su conformación hacia la parte ventral al igual que los puntos 5 y 6. Contrariamente los puntos 7 y 8 se mueven hacia la parte dorsal, al igual que los puntos 11 y 12 que además se desplazan hacia la parte posterior (Figura 10).



**Figura 10. Entramado y gradilla de deformación del segundo componente principal.**

Esto se traduce en un hocico en posición terminal, apuntando completamente en forma horizontal, el pedúnculo caudal más alejado de las alteas dorsales, el abdomen comprimido y la aleta pectoral que se mueve en dirección posterodorsal.

La figura 11 muestra al tercer componente que contiene el 8.87% de la variación total de la muestra, el primer cambio que se observa es el corrimiento del punto 5 hacia la parte posterodorsal, por otro lado, los puntos 3 y 4 se mueven hacia la parte ventral, los puntos 1 y 15 disminuyen sus distancias con el 2 y 9 respectivamente, mientras que los puntos 11 y 12 se mueven de manera contraria uno respecto al otro. Por último, los puntos 9 y 10 se desplazan anteriormente.



**Figura 11. Entramado y gradilla de deformación del tercer componente principal.**

Estos cambios involucran un pedúnculo caudal más largo y más cercano a las aletas dorsales, aletas dorsales más cercanas a la parte posterior del cuerpo aumentando la distancia predorsal y la altura del cuerpo, un hocico de menor longitud, la posición de la base de la aleta pectoral casi vertical y de mucho menor longitud, y opérculo desplazado hacia la parte anterior, generando en conjunto una cabeza más pequeña.

#### **4.1.2 Análisis de función discriminante.**

Una vez que se realizó el análisis exploratorio al interior de la muestra (ACP), se analizaron las categorías resultantes por medio de un Análisis de función discriminante, este análisis permitió poner a prueba la pertenecía de las categorías y maximiza las diferencias entre los pares de grupos. El análisis se aplicó con respecto a los grupos obtenidos de la prueba anterior, asignándoles los nombres A, B y C.

En este análisis se observa la función discriminante con el 100% de los organismos dentro de sus respectivos grupos (Tabla 4). Posteriormente se realizó una validación cruzada para evaluar la independencia de los grupos.

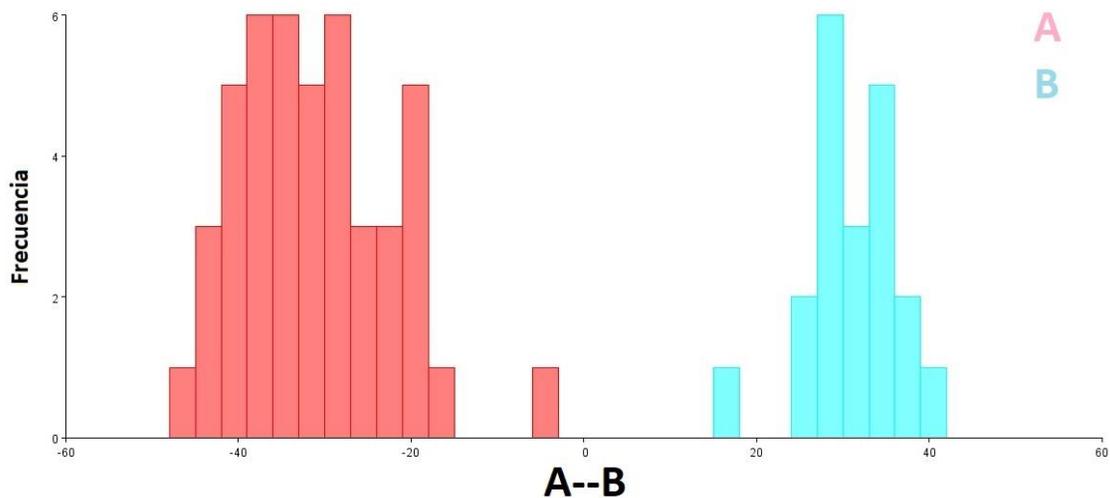
**Tabla 4. Porcentajes en Función discriminante en A B y C.**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Total</b>
<b>A</b>	45 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	45 (100%)
<b>B</b>	0 (0%)	20 (100%)	0 (0%)	20 (100%)
<b>C</b>	0 (0%)	0 (0%)	9 (100%)	9 (100%)

La validación cruzada para el par A-B (Tabla 5) arroja que los organismos de A mantienen un 97.7% dentro de su mismo grupo, mientras que los organismos del grupo B mantienen el 100% dentro de sí.

**Tabla 5. Porcentajes en validación cruzada en A-B.**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Total</b>
<b>A</b>	44 (97.7%)	1 (2.3%)	45 (100%)
<b>B</b>	0 (0%)	20 (100%)	20 (100%)



**Figura 12. Función discriminante, distribución A-B.**

En la figura 12 generada en base al análisis de función discriminante se observa que no existe ningún grado de traslape entre el grupo A y el B, mientras que en la figura 13, generada por medio del análisis de validación cruzada, se observa el traslapa entre A y B, que corresponde al 2.3 % ya mencionado.

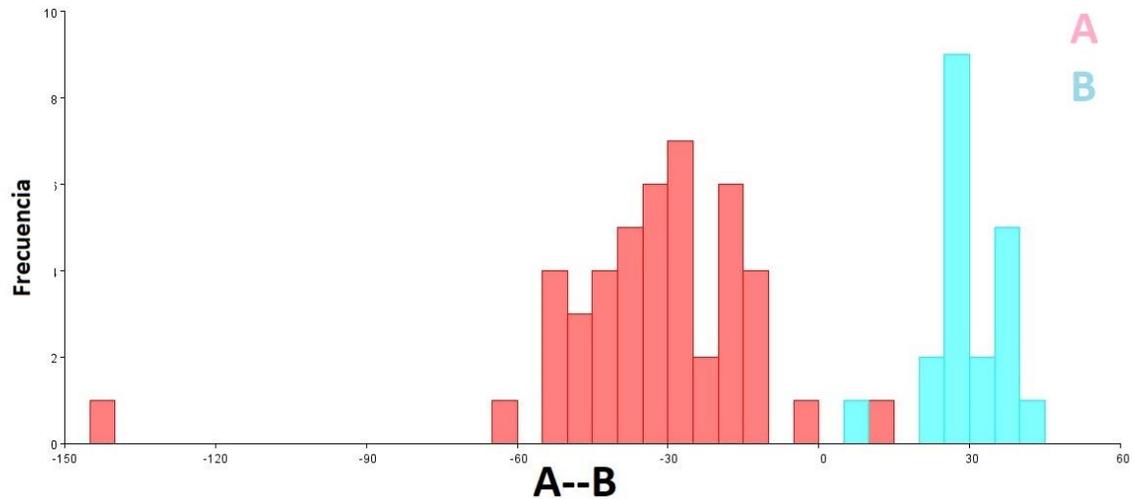


Figura 13. Validación cruzada A-B.

También se generó una rejilla de deformación y un entramado (Figura 14) para poder visualizar los cambios, en este caso los puntos que se observan más modificados son los que dibujan la silueta, 3 y 4 que se mueven hacia la parte posterior ventral; el 11 y 12 se desplazan hacia la parte ventral, mientras que el 9 y 11 hacia la parte anterior. El punto 15 sube hacia la parte dorsal.

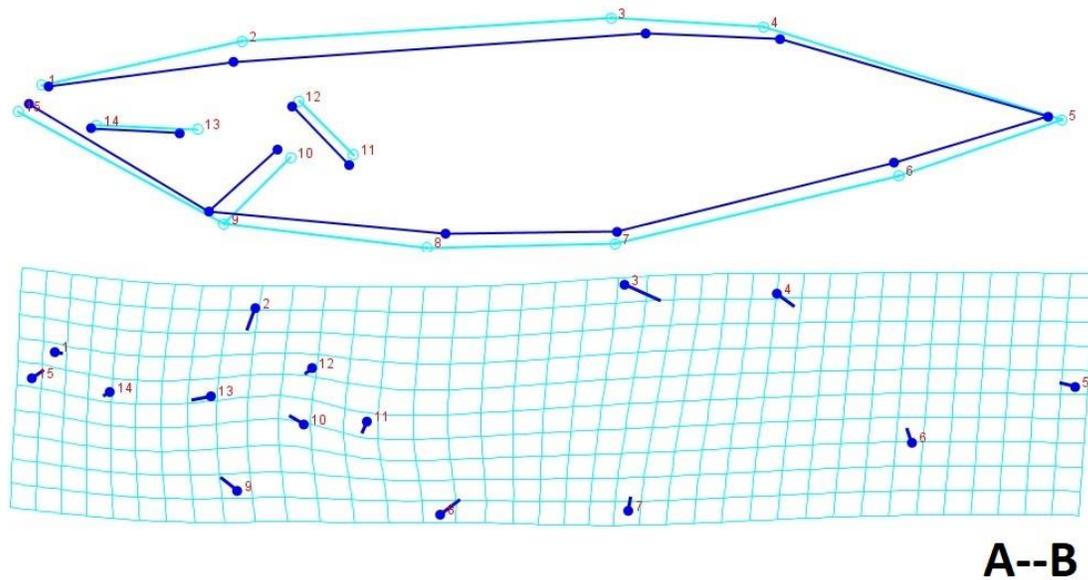


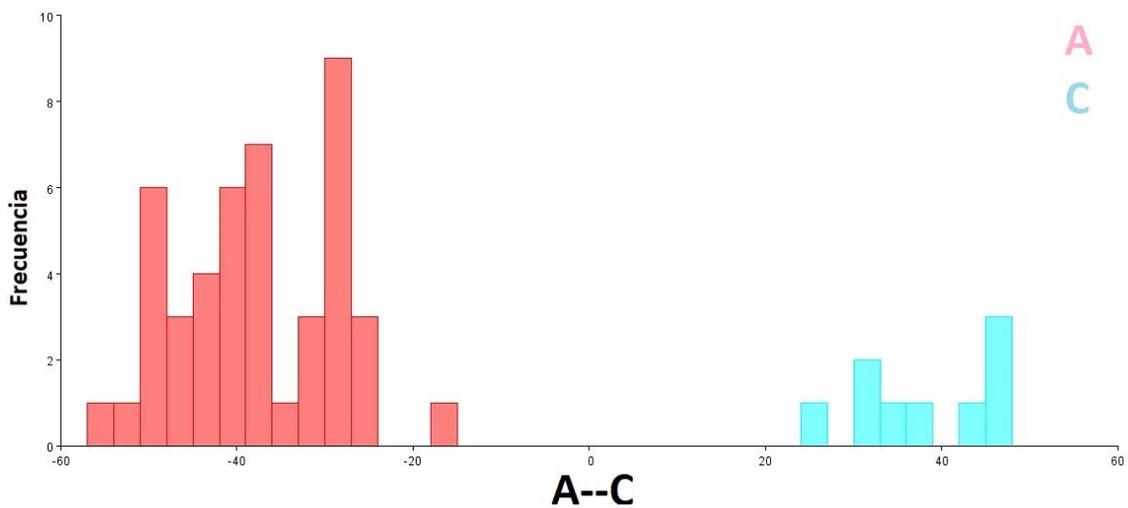
Figura 14. Entramado y gradilla de deformación del análisis de función discriminante de A-B.

Estos cambios involucran un cuerpo con menor altura en general, con las aletas dorsales desplazadas posteriormente, aumentando la distancia predorsal, la aleta pélvica insertada más anteriormente al igual que el hueso opercular, y la boca menos amplia.

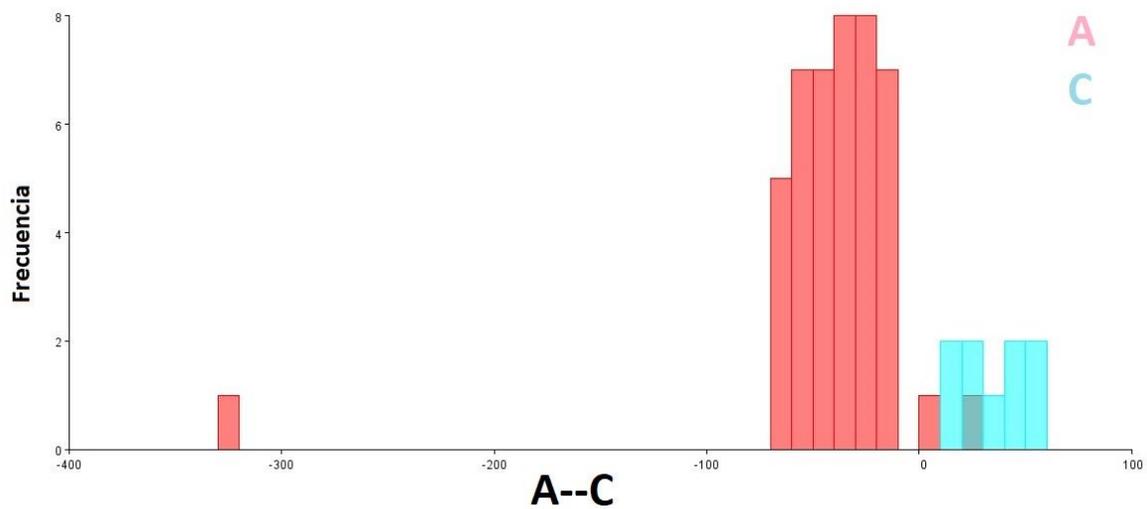
En el caso del par A-C (Tabla 6), la validación cruzada muestra que A mantiene el 95.5% de organismos dentro del grupo, mientras que C mantiene el 100% dentro de su mismo grupo.

**Tabla 6. Porcentajes en validación cruzada en A-C.**

	A	C	Total
A	43 (95.5%)	2 (4.5%)	45 (100%)
C	0 (0%)	9 (100%)	9 (100%)



**Figura 15. Función discriminante. Distribución A-C.**



**Figura 16. Validación cruzada A-C.**

En este caso, los puntos que se observan más modificados son los que generan la silueta del cuerpo, mostrándose más esbelto, recorriéndose los puntos 3 y 4 a la parte posterior, los puntos 9 y 10 se mueven hacia la parte anterior y los puntos 13 y 14 se acercan entre ellos (Figura 17).

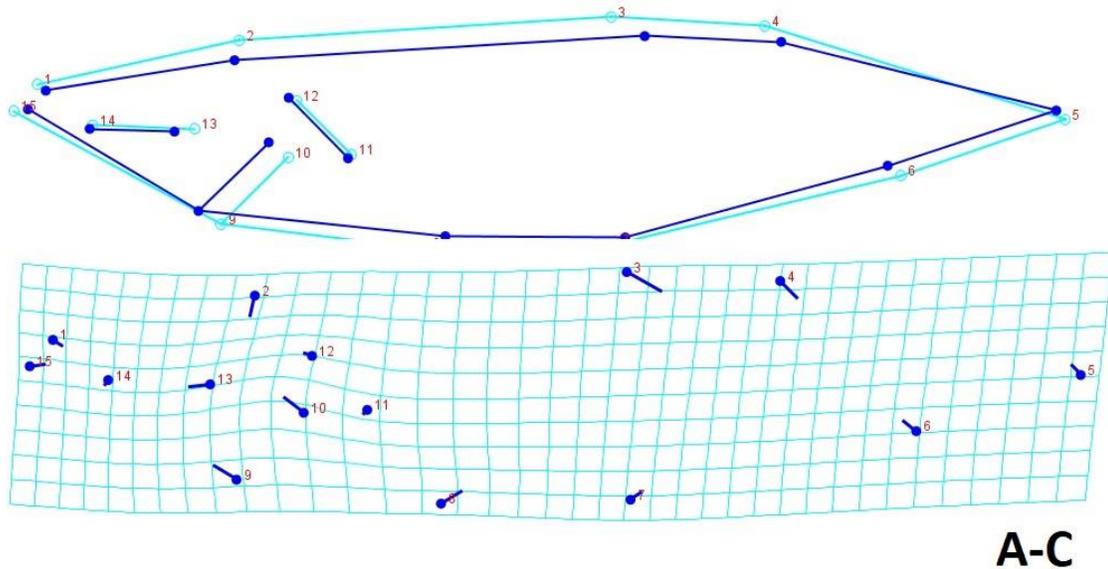


Figura 17. Entramado y gradilla de deformación del análisis de función discriminante A-C.

Esto se traduce en una altura del cuerpo menor, aletas dorsales desplazadas hacia la parte anterior aumentando la distancia predorsal, hueso opercular más cercano a la parte anterior disminuyendo la longitud cefálica y ojo con un diámetro menor.

Por último, la validación cruzada para el par B-C (Tabla 7) arroja que los organismos del grupo B solo mantienen el 50% dentro de su mismo grupo, y que los organismos de C mantienen el 55.5% dentro de sí.

Tabla 7. Porcentajes en validación cruzada en B-C.

	B	C	Total
B	10 (50%)	10 (50%)	20 (100%)
C	5 (55.5%)	4 (44.5%)	9 (100%)

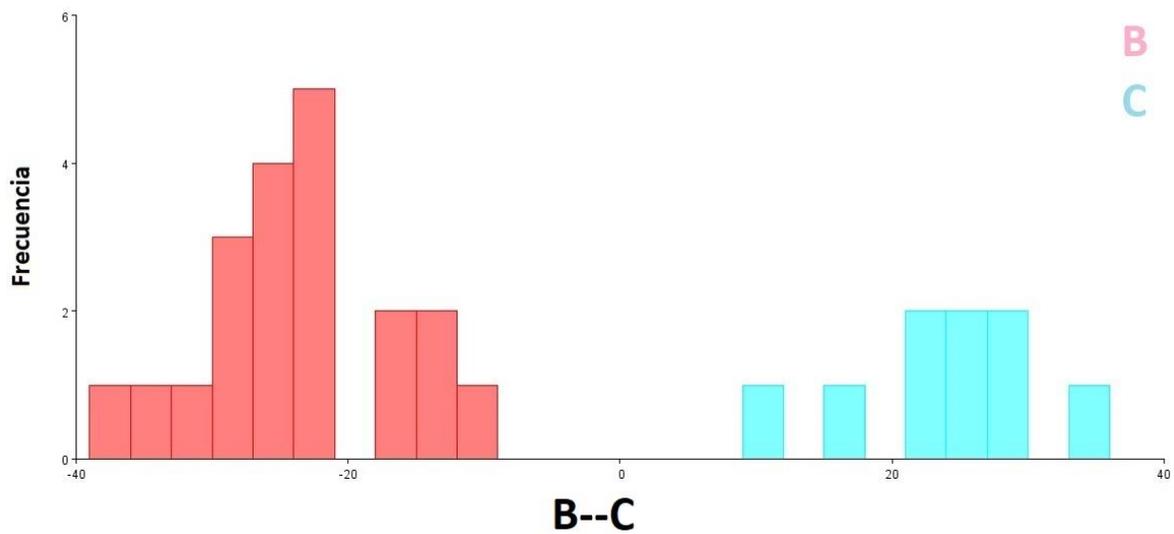


Figura 18. Función discriminante. Distribución B-C.

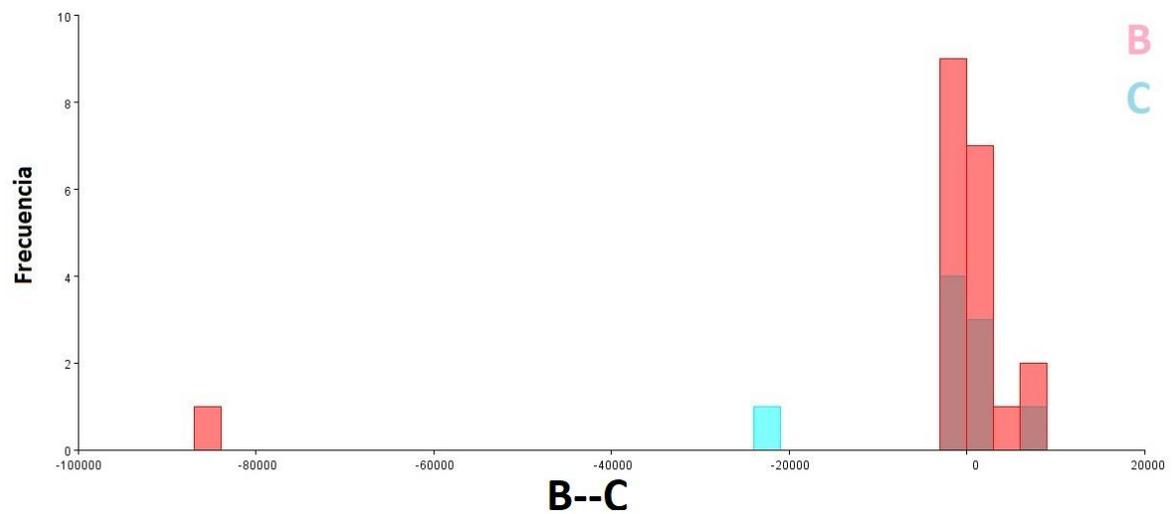


Figura 19. Validación cruzada B-C.

En la figura 20 se puede observar un cambio en la configuración de los puntos 5, 7, 11 y 12 moviéndose hacia la parte dorsal, y los puntos 6, 9 y 10 acercándose hacia la parte anterior.

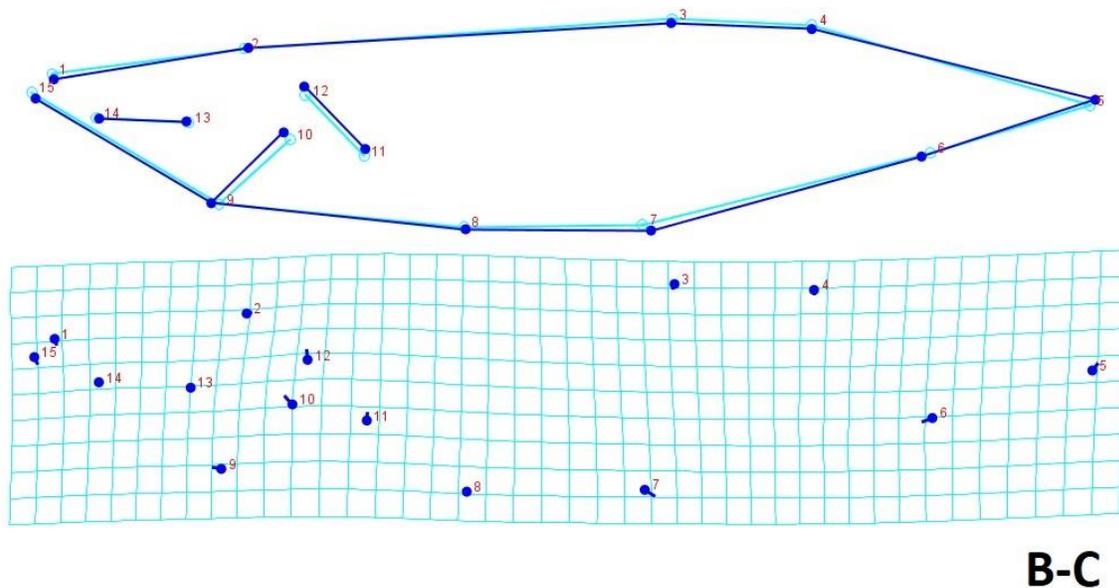


Figura 20. Entramado y gradilla de deformación del análisis de función discriminante B-C.

Esto involucra un pedúnculo caudal más cercano a las aletas dorsales, una base de la aleta anal más corta, el hueso opercular más cercano a la parte anterior disminuyendo la longitud cefálica, y una aleta pectoral más elevada.

#### 4.1.3 Análisis de variables canónicas.

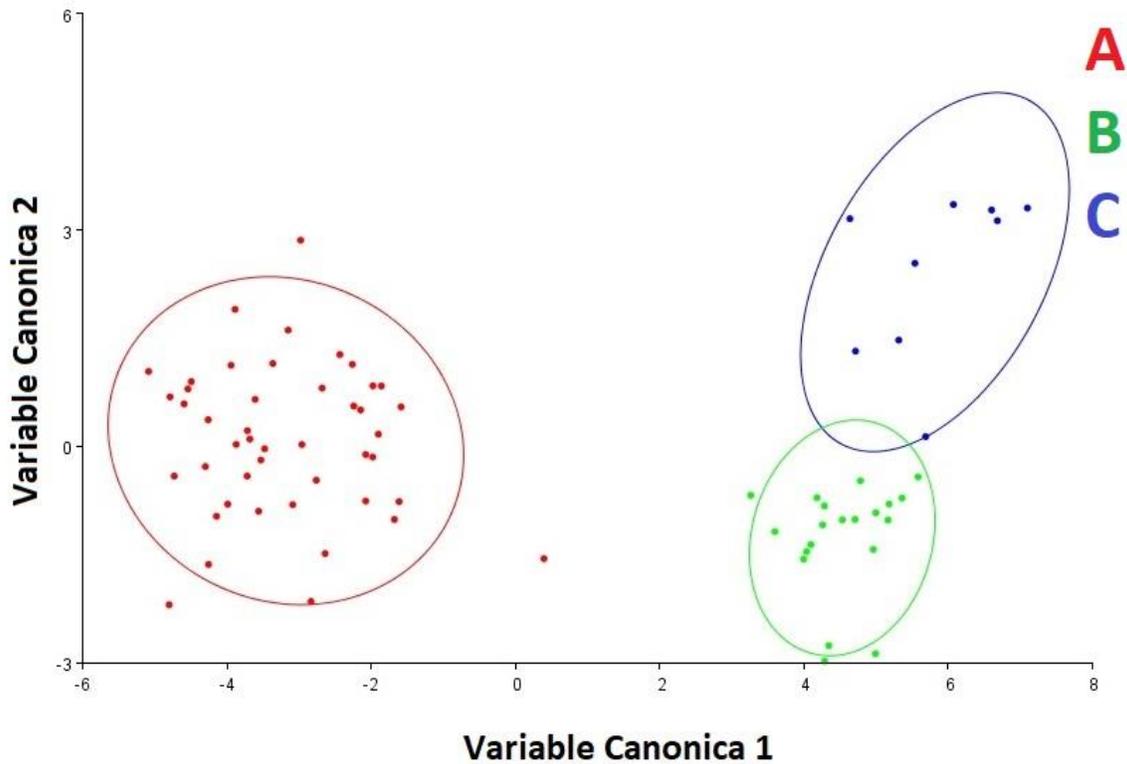
Se aplicó un análisis de variables canónicas con el fin de observar cómo se comportaba el total de la muestra, en este análisis se incluyeron los 74 ejemplares y los grupos asignados anteriormente (A, B, C) se usaron como categorías de clasificación.

El análisis arrojó dos variables canónicas que explican el 100% de la variación al interior de la muestra, la primera explica el 93.25% y la segunda el 6.74% restante (Tabla 8).

Tabla 8. Valores propios y varianza dentro de la muestra. Variables canónicas.

	Valores propios	% Varianza	% Acumulativo
1	16.48	93.25	93.25
2	1.19	6.74	100

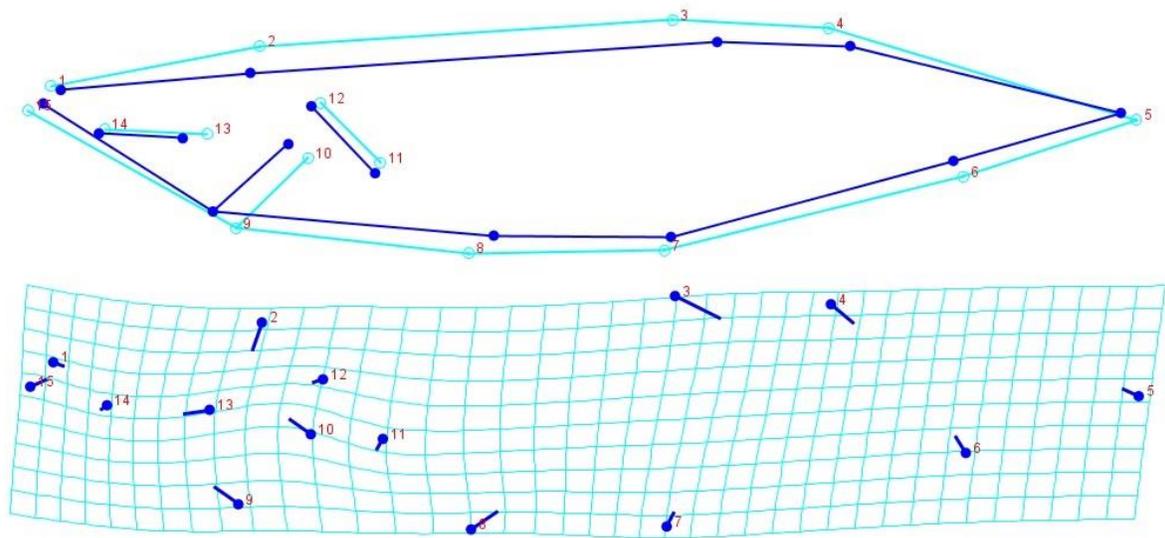
Puesto que son solo dos variables canónicas, estas se utilizaron para generar una figura comparativa que contraste y permita analizar los cambios y separaciones entre grupos (figura 21).



**Figura 21.** Elipses de confianza de primera contra segunda variables canónicas.

El eje X representa la primera variable canónica por lo que la mayoría de la variación se observa sobre este, separando los organismos de A en el eje negativo, y a B y C en el eje positivo, teniendo C una tendencia más positiva que B. Respecto a la varianza en la Y que corresponde a la segunda variable canica los organismos de A se agrupan en el eje negativo, al igual que los de B, mientras que los organismos se C se separan de B agrupándose hacia el eje positivo.

La primera variable canónica explica el 93.25% de la variación total de la muestra, como se observa en la figura 22, en los coeficientes de la variable los puntos con mayor influencia son 2, 3 y 4, que se desplazan hacia la parte ventral, 5, 6, 7 y 8 que se desplazan hacia la parte dorsal, 9 y 10 que se recorren hacia la parte anterior, 13 que se acerca al 14 y los puntos 1 y 15 que se acercan uno con otro.

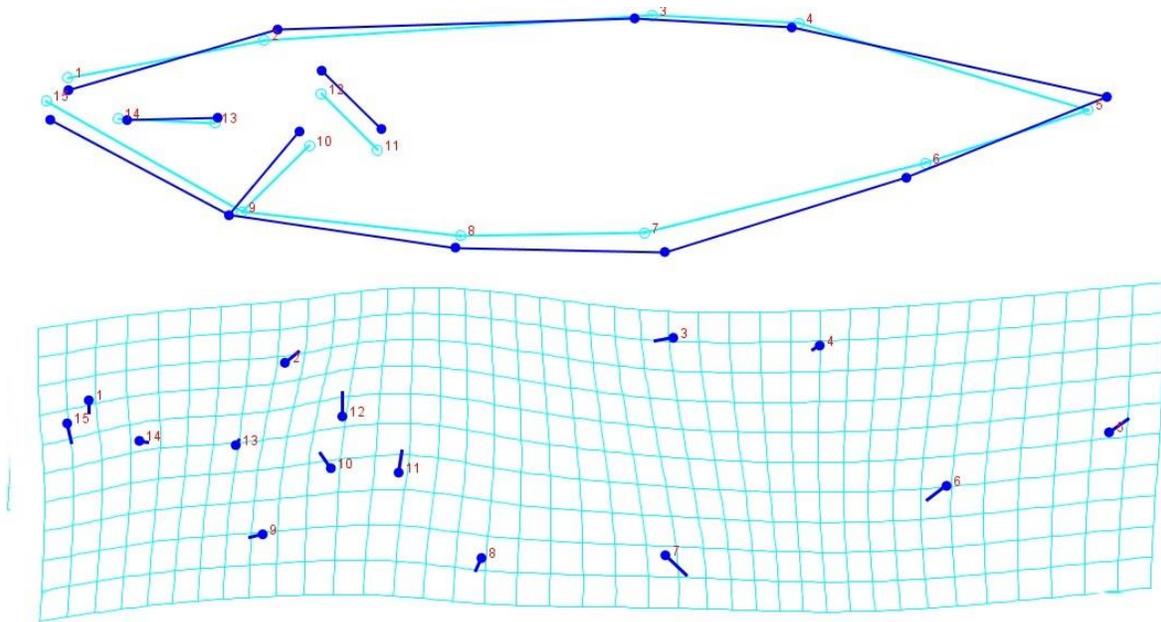


**VC1**

**Figura 22. Entramado y gradilla de deformación de la primera variable canónica.**

Los primeros se traducen en un cuerpo más delgado, disminuyendo la altura corporal desde la cabeza hasta el pedúnculo caudal, el hueso opercular y la aleta pectoral recorridos hacia la parte anterior, haciendo la longitud cefálica menor, un diámetro del ojo menor y recorrido hacia la parte anterior de la cabeza, y un hocico menos amplio.

La segunda variable canónica (Figura 23) solo explica el 6.4% de la variación total de la muestra, notándose la mayor variación en los puntos 1, 6, 7, 8 y 15 que se recorren hacia la parte ventral, 11 y 12 que se recorren hacia la dorsal, 5 que se mueve hacia la parte posterior y 6 que también se recorre hacia la parte anterior.



VC2

**Figura 23. Entramado y gradilla de deformación de la segunda variable canónica.**

Es decir, la parte abdominal está extendida, dado una mayor altura corporal, el pedúnculo caudal es mayor mientras que la base de la aleta anal es menor, la aleta pectoral toma una posición más dorsal mientras que el hueso opercular se recorre hacia la parte anterior haciendo la cabeza más pequeña, el hocico baja su posición haciendo la boca termina.

## **4.2 Morfometría tradicional.**

Para los análisis siguientes se consideraron los datos merísticos tal cual mientras que los datos morfométricos fueron transformados en porcentajes ya sea de la Longitud patrón o la Longitud cefálica según fuera el caso, esto con el propósito de eliminar la variación dada por el tamaño del ejemplar y preservar solo la variación morfométricas de la forma.

### **4.2.1 Análisis de componentes principales grupos A B y C.**

Con el fin de corroborar los grupos obtenidos y extrapolarlos a los 101 ejemplares, se realizó un Análisis de componentes principales incluyendo toda la muestra y las 21 variables medidas.

Se extrajo una matriz de estandarización para observar la desviación estándar y los números máximos y mínimos correspondientes a cada una de las variables (Tabla 9).

**Tabla 9. Estandarización de las variables.**

<b>Variable</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
<b>Escamas en serie longitudinal.</b>	37.31	1.56	34	41
<b>Escamas en serie transversal.</b>	7.10	0.31	7	8
<b>Escamas predorsales.</b>	17.21	2.08	13	22
<b>Espinas de la primera aleta dorsal.</b>	4.46	0.65	3	6
<b>Radios de la segunda aleta dorsal.</b>	8.84	0.86	7	11
<b>Radios de la aleta anal.</b>	9.58	1.10	16	23
<b>Origen de la primera aleta dorsal con respecto a los radios de la aleta anal.</b>	1.47	1.30	0	4
<b>Radios de la aleta pectoral.</b>	12.73	0.44	12	13
<b>Longitud de la aleta anal / Longitud patrón.</b>	27.31	1.68	20.03	30.98
<b>Longitud de la aleta pectoral /Longitud patrón.</b>	22.14	2.83	16	27.62
<b>Longitud de la aleta pélvica /Longitud patrón.</b>	12.52	1.40	9.20	14.81
<b>Distancia predorsal /Longitud patrón.</b>	56.95	3.86	30.18	63.39
<b>Distancia postdorsal / Longitud patrón.</b>	17.88	1.35	14.81	21.33
<b>Longitud del pedúnculo caudal /Longitud patrón.</b>	14.99	1.48	11.96	19.67
<b>Altura del pedúnculo caudal /Longitud patrón.</b>	8.38	0.85	6.15	10.45
<b>Diámetro ocular /Longitud cefálica.</b>	35.89	2.99	27.27	43.16
<b>Espacio inter orbital/ Longitud cefálica.</b>	30.77	2.97	21.05	37
<b>Longitud del hocico /Longitud cefálica.</b>	28.42	3.74	18.75	38.46
<b>Longitud cefálica /Longitud patrón.</b>	25.75	1.83	22	29.81
<b>Ancho de la estola /longitud patrón.</b>	2.72	0.58	1	3.95
<b>Diámetro de la pupila /Longitud cefálica.</b>	15.95	1.8	11.76	20

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

Con esta matriz de correlación se realizó el análisis de componentes principales, tomándolo como análisis exploratorio para observar el comportamiento de los datos.

El análisis arrojó 21 componentes que explican el total de la variación al interior de la muestra (Tabla 10). El análisis muestra al primer componente con el 22.75% de la variación total de la muestra, solo los dos primeros componentes son mayores al 10% de variación y los tres primeros acumulan el 44.42% de la variación total.

**Tabla 10. Porcentaje de variación individual y acumulada de los primeros 5 componentes principales.**

<b>Componente</b>	<b>Valor propio</b>	<b>%Variación</b>	<b>%acumulado</b>
1	4.77	22.75	22.75
2	2.55	12.15	34.90
3	1.99	9.52	44.42
4	1.53	7.30	51.73
5	1.32	6.30	58.03

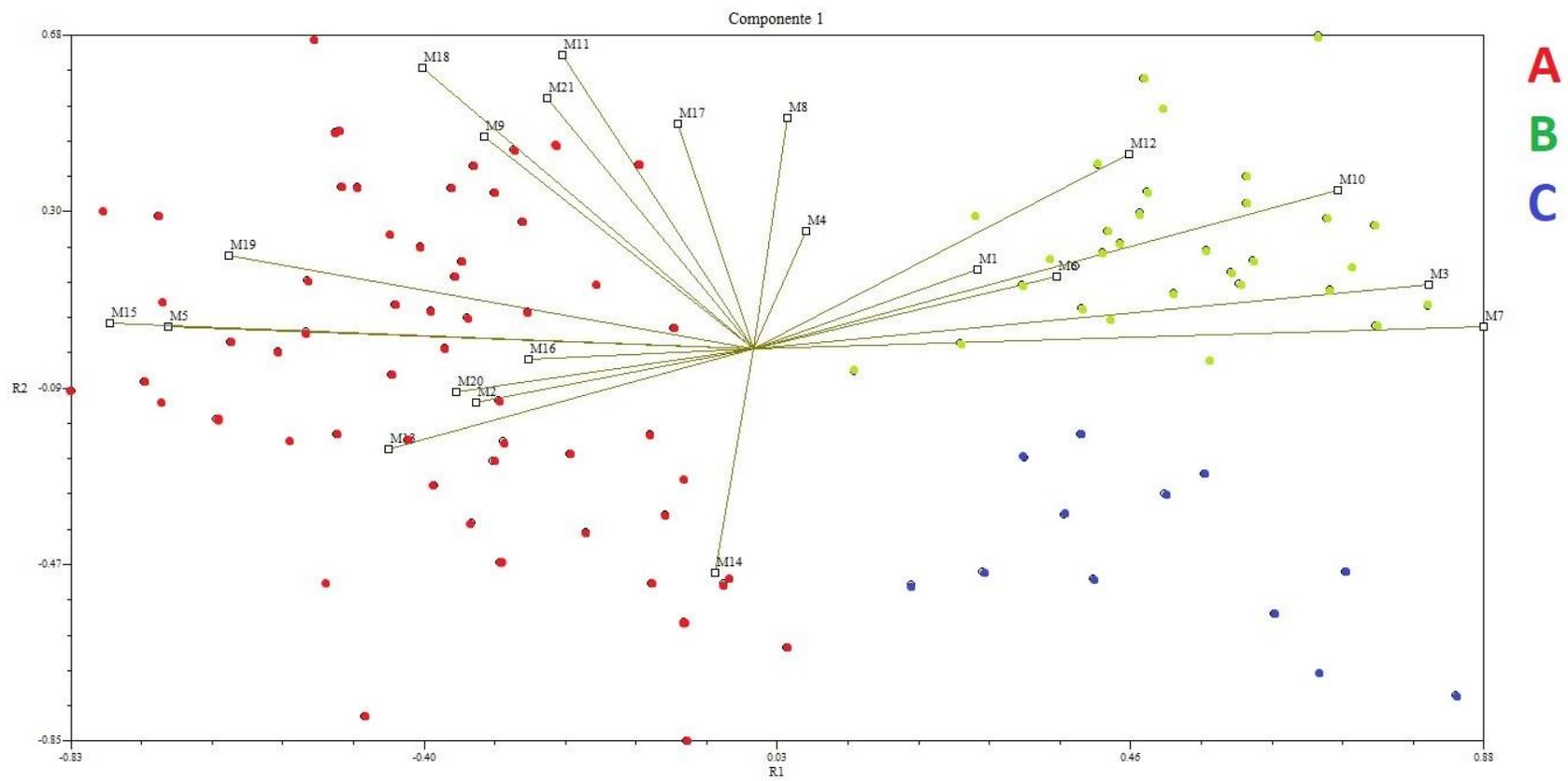


Figura 24. Primer componente principal.

En la figura 24 se muestra la formación de tres grupos, que coinciden con los formados por morfometría geométrica, para fines de visualización se colorearon, el grupo A (color rojo) se muestra agrupado en el eje negativo de las X, aumentando su número a 57 organismos mientras que el grupo B (verde) y C (azul) se muestra en el lado positivo. El grupo B se muestra en el lado positivo de las Y sumando 32 organismos mientras que el grupo C se observa en el lado negativo y cuenta con 12 especímenes.

Los organismos en esta figura se pueden dividir por los vectores de los datos morfológicos, el grupo A que se observa en el lado izquierdo (-X) se ve claramente separados del B y C por los vectores M1, M3, M6, M7, M10 y M12 que corresponden a Escamas en serie longitudinal, Escamas predorsales, Radios de la aleta anal, Origen de la primera aleta dorsal con respecto a los radios de la aleta anal, Longitud de la aleta pectoral / Longitud patrón y Distancia predorsal / Longitud patrón. En cuanto a los grupos B y C que se encuentran ambos en el lado derecho (+X) separados con B en la parte superior (+Y) y C en la inferior (-Y) se observa que la principal variación que separa al grupo B del C está dada por el vector M14 que corresponde a la longitud del pedúnculo caudal / Longitud patrón, mientras que la variación que separa a C de B está dada por los vectores M4, M8 y M17 que corresponden a Espinas de la primer aleta dorsal, Radios de las aletas pectorales y Espacio interorbital / longitud cefálica.

**Tabla 11. Varianza al interior de cada componente principal.**

Variable	Comp.	Comp.	Comp.	Comp.
	1	2	3	4
<b>M1</b> Escamas en serie longitudinal.	2.69	1.70	3.95	9.47
<b>M2</b> Escamas en serie transversal.	-3.36	-1.15	4.07	3.75
<b>M3</b> Escamas predorsales.	8.15	1.38	-6.21	-1.67
<b>M4</b> Espinas de la primera aleta dorsal.	6.30	2.54	5.97	-2.21
<b>M5</b> Radios de la segunda aleta dorsal.	-7.08	4.89	2.04	-1.16
<b>M6</b> Radios de la aleta anal.	3.65	1.57	2.09	-4.05
<b>M7</b> Origen de la primera aleta dorsal con respecto a los radios de la aleta anal.	8.82	4.85	1.54	1.24
<b>M8</b> Radios de la aleta pectoral.	4.01	5.00	3.11	1.64
<b>M9</b> Longitud de la aleta anal / Longitud patrón.	-3.26	4.59	2.02	-1.86
<b>M10</b> Longitud de la aleta pectoral /Longitud patrón.	7.06	3.43	-1.75	3.28
<b>M11</b> Longitud de la aleta pélvica /Longitud patrón.	-2.31	6.35	-1.68	4.45
<b>M12</b> Distancia predorsal /Longitud patrón.	4.53	4.21	6.11	3.65
<b>M13</b> Distancia postdorsal / Longitud patrón.	-4.41	-2.16	-4.54	2.15
<b>M14</b> Longitud del pedúnculo caudal /Longitud patrón.	-4.66	-4.83	-4.15	5.27
<b>M15</b> Altura del pedúnculo caudal /Longitud patrón.	-7.78	5.42	-7.07	-8.15
<b>M16</b> Diámetro ocular /Longitud cefálica.	-2.72	-2.28	-6.30	-1.16
<b>M17</b> Espacio inter orbital/ Longitud cefálica.	-9.23	4.87	-3.88	-6.70
<b>M18</b> Longitud del hocico /Longitud cefálica.	-4.00	6.07	1.66	-6.26
<b>M19</b> Longitud cefálica /Longitud patrón.	-6.35	2.02	2.54	3.88
<b>M20</b> Ancho de la estola /longitud patrón.	-3.59	-9.38	4.47	3.05
<b>M21</b> Diámetro de la pupila /Longitud cefálica.	-2.49	5.42	-5.08	-1.84

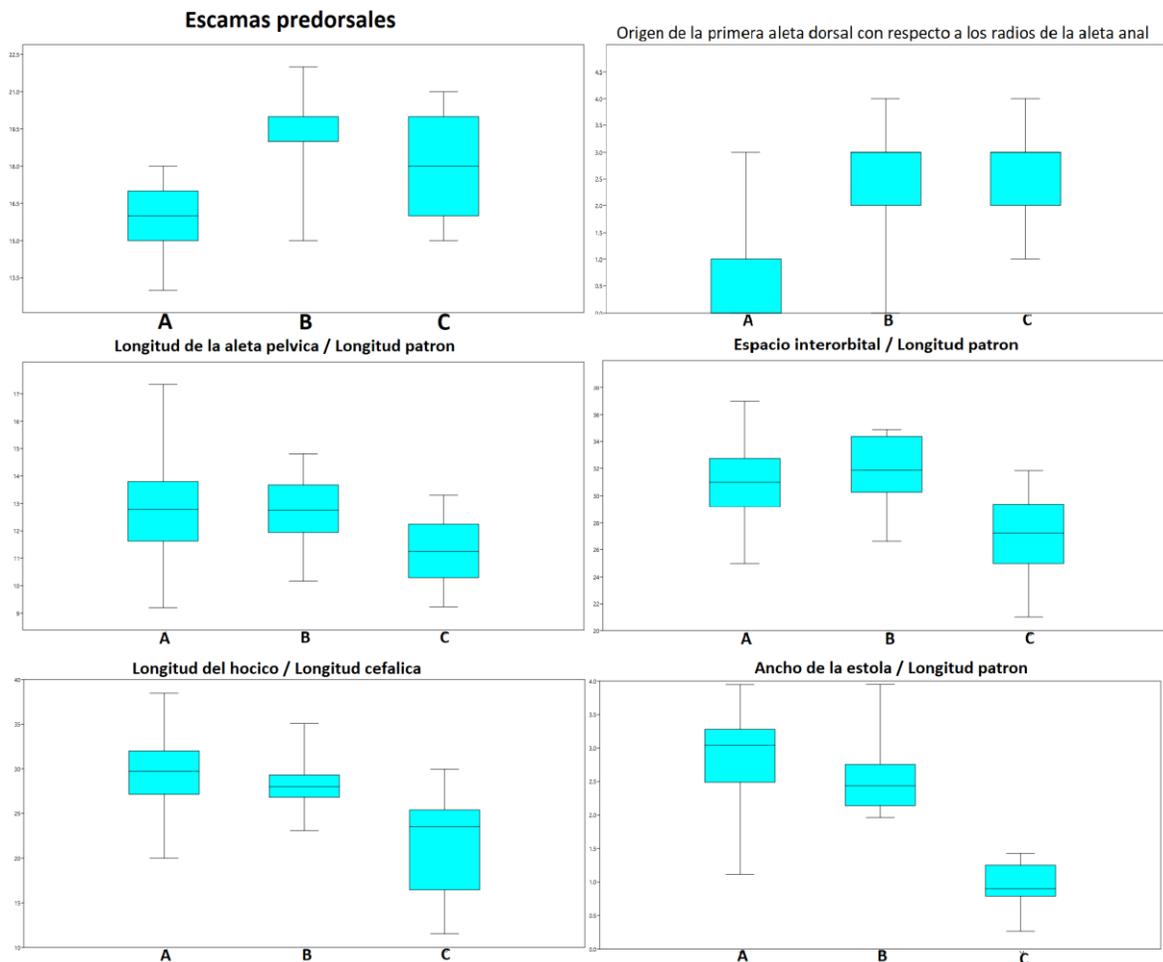
En la tabla 11 se observan los componentes respecto a los puntos medidos con los coeficientes de estos, siendo los coeficientes más altos los que ejercen mayor influencia respecto al componente y según el signo es la posición que toman en el gráfico. En el primer componente los puntos más altos son M3, M7 y M17, esto nos dice que las principales diferencias se observan en la cantidad de escamas predorsales, la posición del origen de la

primera aleta dorsal con respecto a los radios de la aleta anal y la proporción del espacio interorbital sobre la longitud cefálica.

En el segundo componente la mayor variación la tienen M11, M18 y M20, por lo que en este componente la variación está dada por la proporción de la longitud de la aleta pélvica en la longitud patrón, la de longitud del hocico en la longitud cefálica y la proporción del ancho de la estola sobre la longitud patrón.

En el tercer componente nuevamente aparece M3 (escamas predorsales) aunque esta vez se suman M12, M15 y M16, que corresponden a la proporción de la distancia predorsal sobre la longitud patrón, la proporción de la altura del pedúnculo caudal en la longitud patrón, y la proporción del diámetro ocular en la longitud cefálica.

Se elaboraron graficas de caja y bigote (Figura 25) que permiten observar el comportamiento de las medias y valores de dispersión en los grupos, para comparar visualmente los resultados y corroborar la diferencia morfológica.



**Figura 25. Diagramas de caja que muestran los caracteres correspondientes a M3, M7, M11, M17, M18 y M20.**

La tendencia que se muestra en M3 (Escamas predorsales) es que el grupo A maneja una media mucho menor, seguida por el grupo C que presenta una mayor amplitud de cuartiles, mientras que B presenta la media más alta con una menor amplitud de rangos.

En cuanto a M7 (origen de la primera aleta dorsal con respecto a los radios de la aleta anal) el grupo A muestra la media más baja, Los grupos B y C presentan medias similares, pero el Grupo B presenta puntos extremos más amplios.

M11 (longitud de la aleta pélvica/ Longitud patrón) presenta medias similares en los grupos A y B, teniendo A una distribución mayor, mientras que el grupo C presenta una media menor.

La tendencia que muestra M17 (Espacio inter orbital/ Longitud cefálica) es que el grupo C mantiene la media más baja, seguido por el grupo A, mientras que la media más alta se encuentra el grupo B.

En cuanto a M18 (Longitud del hocico /Longitud cefálica) el grupo C muestra la media más baja, seguido del grupo B, mientras que el grupo A muestra la media más alta.

Por último, M20 (Ancho de la estola /longitud patrón) presenta la media más baja en el grupo C, seguida del grupo B y con la media más alta presente en el grupo A.

En la figura 26 se observan ejemplares pertenecientes a los grupos aquí definidos.



**A**



**B**



**C**

**Figura 26** ejemplares pertenecientes a los grupos A, B y C

#### 4.2.2 Comparación con las especies reportadas.

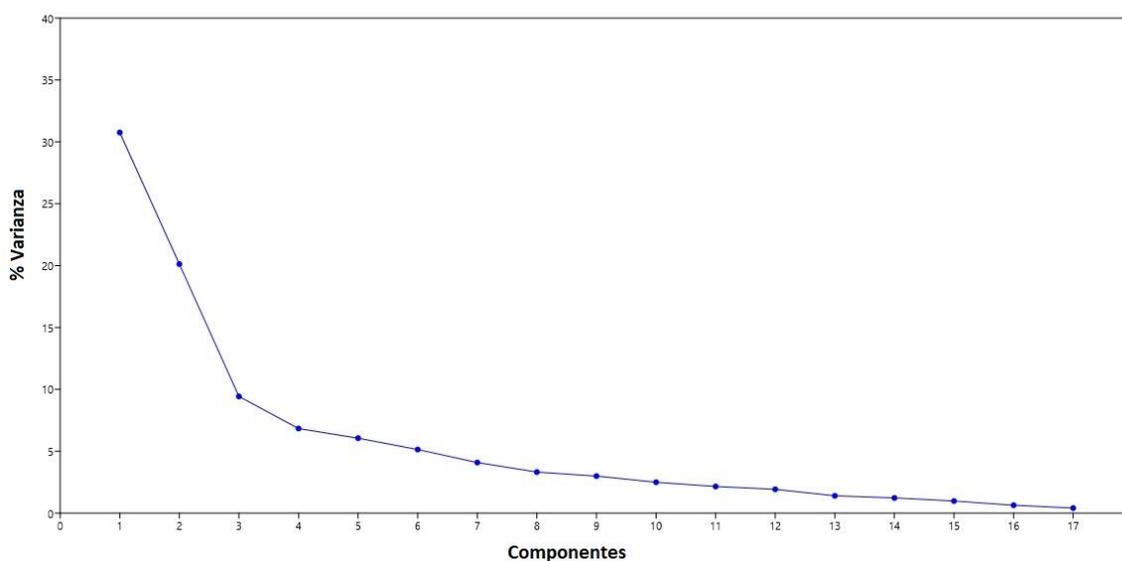
Con el objetivo de comparar los grupos obtenidos con las especies reportadas y verificar su pertenencia o no a las mismas, se obtuvieron las mismas mediciones de la literatura: Günther (1864), Alvarez y Carranza (1952) y Díaz-Pardo (1972); y se aplicó un Análisis de componentes principales y uno de función discriminante con todos los datos (propios y bibliográficos).

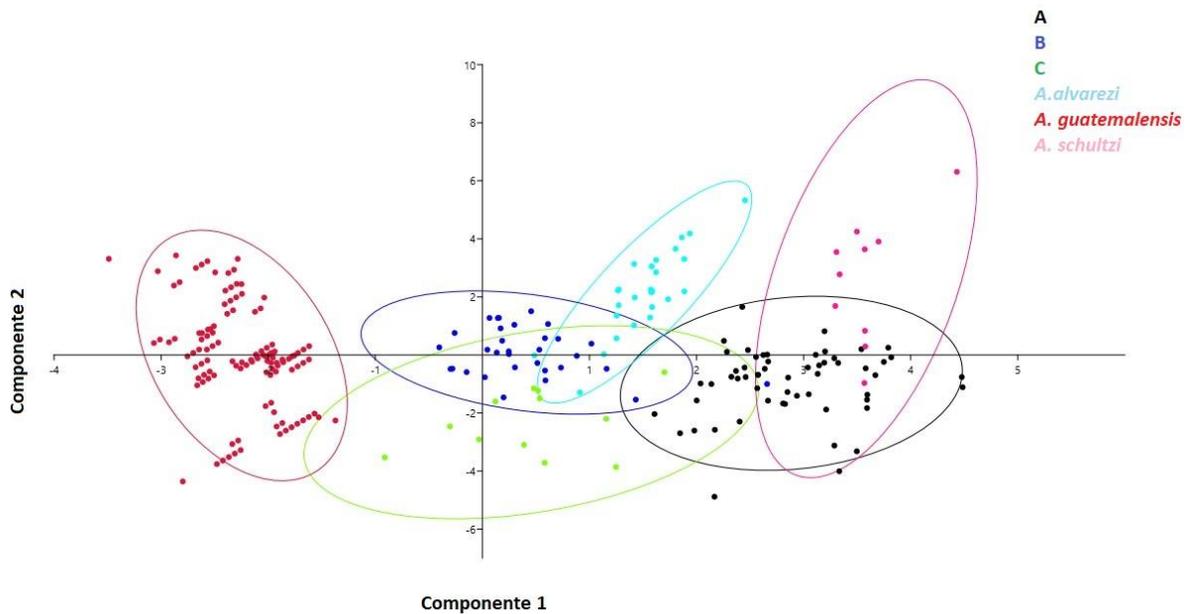
El análisis de componentes principales arrojó 17 componentes que explican el total de la variación al interior de la muestra (Tabla 13), el análisis muestra al primer componente con el 30.75% de la variación total de la muestra, solo los dos primeros componentes son mayores al 20% de variación y los tres primeros acumulan el 60.29% de la variación total (Tabla 12).

**Tabla 12. Porcentaje de variación individual y acumulada de los primeros 5 componentes principales.**

Componente	Valor propio	% Variación	% Acumulado
1	5.22	30.75	30.75
2	3.42	20.12	50.87
3	1.60	9.42	60.29
4	1.16	6.83	67.12
5	1.02	6.05	73.17

**Tabla 13. tabla de acumulación del porcentaje del ACP.**





**Figura 27. Primer contra segundo componente principal con elipses de confianza.**

En la figura 27 se observa el resultado del contraste entre los seis grupos, para efectos visuales se seleccionó un color para cada uno de los grupos, de los seis, *A. guatemalensis* es el único que está completamente diferenciado, sin ningún grado de traslape con ningún otro grupo, ubicándose en el lado negativo de las X, *A. schultzi* se traslapa con el grupo A, ubicándose en el lado positivo de las X, pero tendiendo, al contrario de A, al lado positivo de las Y, *A. alvarezii* por su parte, se traslapa con los grupos B y C, ubicándose en el lado positivo de las X pero tendiendo, al contrario de B y C hacia el lado positivo de Y, esto sin llegar a traslaparse con *A. schultzi*.

En cuanto a los grupos A, B y C, el comportamiento coincide con los análisis anteriores.

**Tabla 14. Varianza al interior de cada componente principal.**

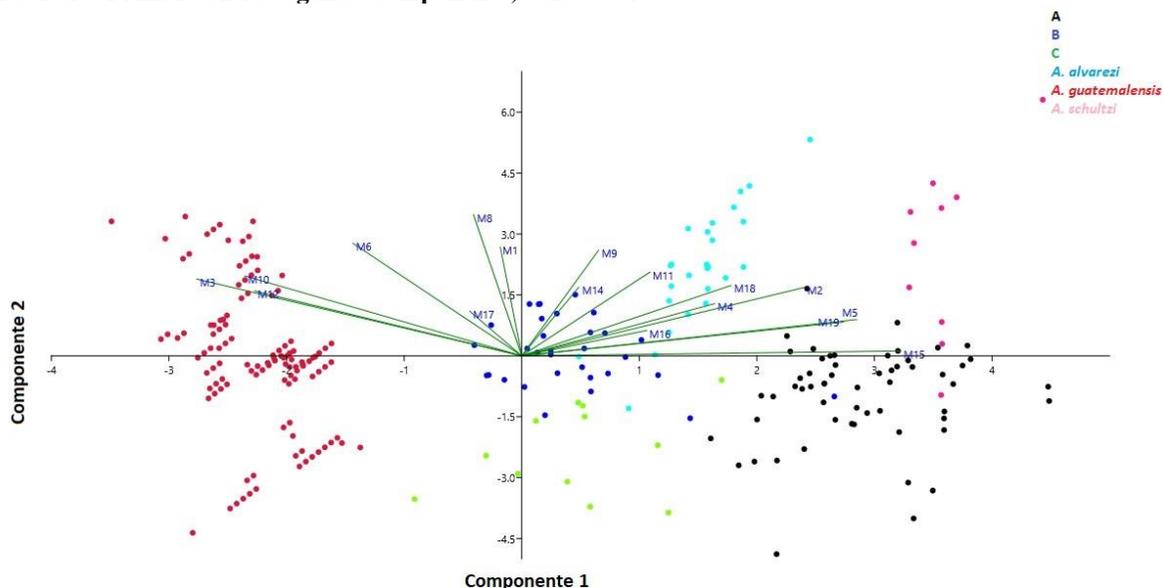
Variable	Comp.	Comp.	Comp.	Comp.
	1	2	3	4
<b>M1</b> Escamas en serie longitudinal.	-0.02	0.34	-0.36	0.02
<b>M2</b> Escamas en serie transversal.	0.30	0.21	0.09	-0,24
<b>M3</b> Escamas predorsales.	-0.35	0.24	-0.11	-0.06
<b>M4</b> Espinas de la primera aleta dorsal.	0.20	0.16	-0.42	0.23
<b>M5</b> Radios de la segunda aleta dorsal.	0.36	0.11	-0.14	0.19
<b>M6</b> Radios de la aleta anal.	-0.18	0.35	-0.28	0.17
<b>M8</b> Radios de la aleta pectoral.	-0.05	0.44	-0.11	0.04
<b>M9</b> Longitud de la aleta anal / Longitud patrón.	0.08	0.33	0.26	0.07
<b>M10</b> Longitud de la aleta pectoral /Longitud patrón.	-0.30	0.25	0.15	-0.15
<b>M11</b> Longitud de la aleta pélvica /Longitud patrón.	0.13	0.26	0.34	-0.18
<b>M12</b> Distancia predorsal /Longitud patrón.	-0.28	0.20	0.22	-0.01
<b>M14</b> Longitud del pedúnculo caudal /Longitud patrón.	0.06	0.21	-0.10	-0.47
<b>M15</b> Altura del pedúnculo caudal /Longitud patrón.	0.41	0.01	-0.02	0.00
<b>M16</b> Diámetro ocular /Longitud cefálica.	0.13	0.07	0.08	0.49
<b>M17</b> Espacio inter orbital/ Longitud cefálica.	-0.05	0.14	0.38	0.43
<b>M18</b> Longitud del hocico /Longitud cefálica.	0.22	0.22	0.33	0.07
<b>M19</b> Longitud cefálica /Longitud patrón.	0.34	0.10	-0.00	-0.27

En la tabla 14 se observa que en el primer componente los puntos más altos son M3, M5 y M15, esto indica que las principales diferencias se observan en la cantidad de escamas predorsales, los radios de la segunda aleta dorsal y la proporción de la altura del pedúnculo caudal sobre la longitud patrón.

En el segundo componente la mayor variación la tienen M1, M6 y M8, por lo que en este componente la variación está dada por la cantidad de escamas en serie longitudinal, los radios de la aleta anal y los radios de la aleta pectoral.

En el tercer componente nuevamente aparece M1 (escamas en serie longitudinal) aunque esta vez se suman M4 y M17, que corresponden a la cantidad de espinas de la primera aleta dorsal y la proporción del espacio interorbital sobre la longitud cefálica.

**Tabla 15. Primer contra segundo componente, con vectores.**



Los organismos en la tabla 15 se pueden dividir por los vectores de los datos morfológicos, el grupo *A. alvarezi* que se observa de lado positivo de las X y Y se agrupa por los vectores M4, M11 y M 18 que corresponden a la cantidad de espinas en la primera aleta dorsal, la proporción de la longitud de la aleta pélvica sobre la longitud patrón y la proporción de la longitud del hocico sobre la longitud cefálica. El grupo *A. guatemalensis* que se ubica en el lado negativo de las X se agrupa por los vectores M3, M10 y M12 que corresponden a la cantidad de escamas predorsales, la proporción de la longitud de la aleta pectoral sobre la longitud patrón y la proporción de la distancia predorsal sobre la longitud patrón. El grupo *A. schultzi* que se observa del lado positivo de las X y Y se agrupa por los vectores M5, M15 y M19 que corresponden a la cantidad de radios de la segunda aleta dorsal, la proporción de la altura del pedúnculo caudal sobre la longitud patrón y la proporción de la longitud cefálica sobre la longitud patrón.

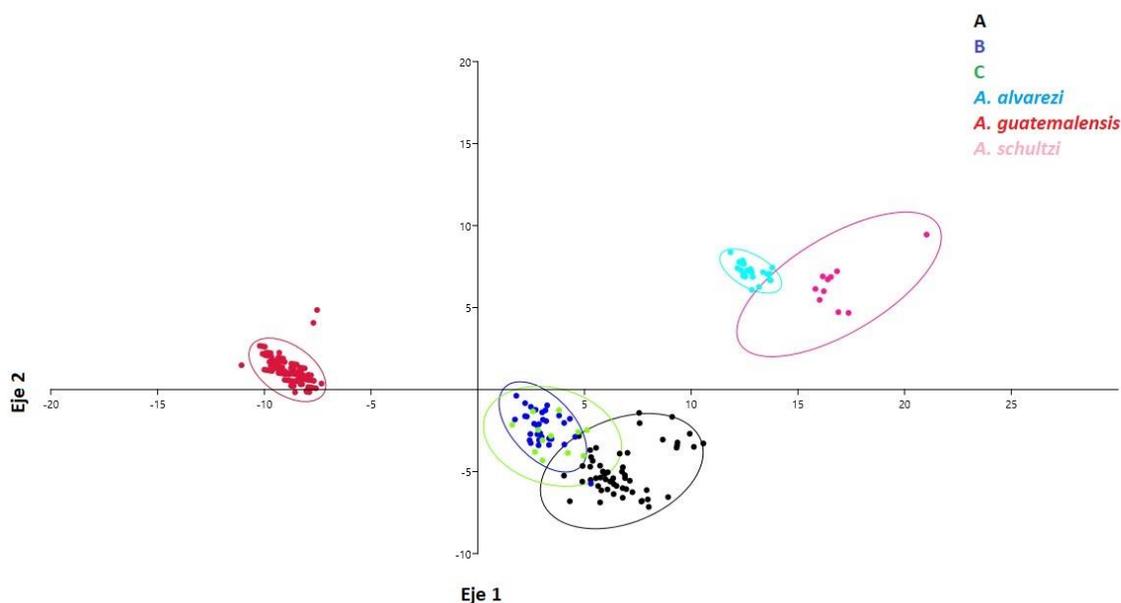
La relación de los grupos A, B y C con los vectores ya fue analizada anteriormente.

Una vez que se realizó el análisis exploratorio al interior de la muestra, se analizó entre las categorías por medio del análisis de función discriminante (Tabla 16), este análisis permite poner a prueba la pertenencia de las categorías asignadas a priori y maximiza las diferencias entre pares de categorías.

En este análisis se observa la función discriminante con 100% de los organismos dentro de sus respectivos grupos asignados a priori en los casos de *A. alvarezii*, *A. guatemalensis* y *A. schultzi*, para el caso del grupo A, mantiene el 96.49% dentro de sí, mientras que el grupo B mantiene el 93.75% dentro de su mismo grupo, y los organismos del grupo C mantienen el 91.66%.

**Tabla 16. Porcentajes en función discriminante.**

	A	<i>A. alvarezii</i>	B	C	<i>A. guatemalensis</i>	<i>A. schultzi</i>	Total
A	55 (96.49%)	0 (0%)	1 (1.75%)	1 (1.75%)	0 (0%)	0 (0%)	57 (100%)
<i>A. alvarezii</i>	0 (0%)	26 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	26 (100%)
B	1 (3.12%)	0 (0%)	30 (93.75%)	1 (3.12%)	0 (0%)	0 (0%)	32 (100%)
C	0 (0%)	0 (0%)	1 (8.33%)	11 (91.66%)	0 (0%)	0 (0%)	12 (100%)
<i>A. guatemalensis</i>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	115 (100%)	0 (0%)	115 (100%)
<i>A. schultzi</i>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (100%)	10 (100%)

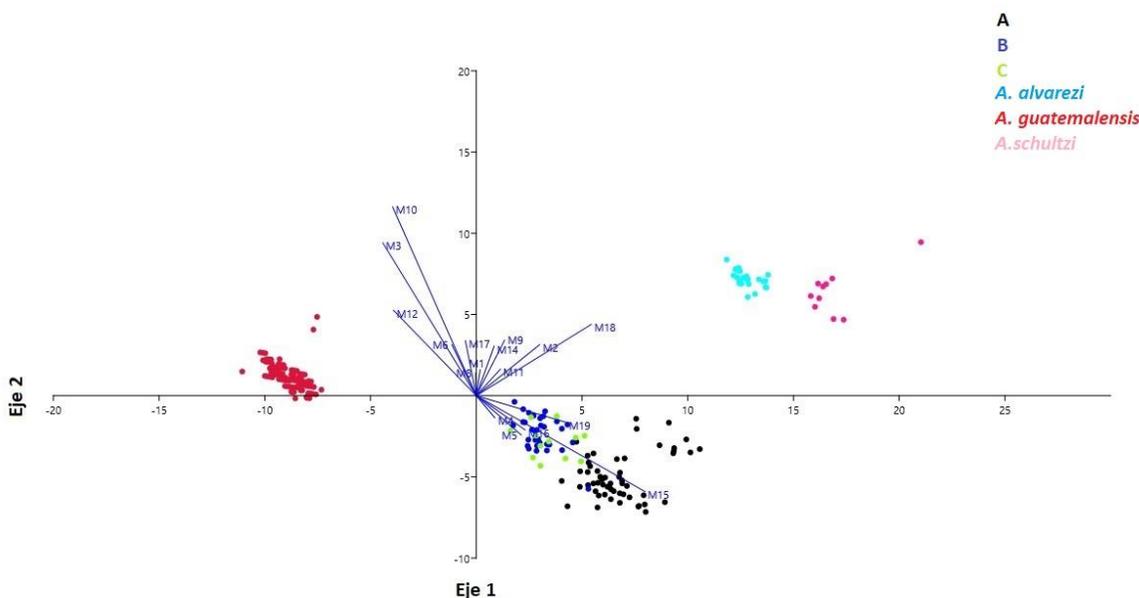


**Figura 28. Primer contra segundo eje de función discriminante con elipses de confianza.**

En la figura 28 se observa el contraste de los dos primeros ejes de función discriminante, para efectos visuales se seleccionó un color para cada uno de los grupos. *A. schultzi* (color

rosa) se observa del lado positivo de las X y positivo de las Y, superpuesto con el grupo *A. alvarezii* (color azul claro) que se observa también del lado positivo de las X pero con una tendencia más negativa, mientras que *A. guatemalensis* (color rojo) se encuentra del lado negativo de las X, separado completamente de todos los demás grupos.

En cuanto a los grupos A (negro), B (azul fuerte) y C (verde) se muestran compaginados, sin embargo, esta relación coincide con lo anteriormente analizado.



**Figura 29. Primer contra segundo eje de función discriminante, con vectores.**

Los organismos en la figura 29 se pueden dividir por los vectores de los datos morfológicos, *A. schultzi* ubicado en eje positivo de las X y Y se agrupa por el efecto de M18 (Longitud del hocico /Longitud cefálica) y M19 (Longitud cefálica /Longitud patrón), *A. alvarezii* ubicado también en el eje positivo de las X y Y pero con una tendencia más negativa en X, se agrupa también por la influencia de M18 y M2 (Escamas en serie transversal), mientras que *A. guatemalensis* ubicado de lado negativo de las X, se agrupa por los vectores M3 (escamas predorsales) y M12 (Distancia predorsal /Longitud patrón).La interacción de los vectores con A, B y C ya fue analizada anteriormente.

**Tabla 17. Varianza al interior de cada eje.**

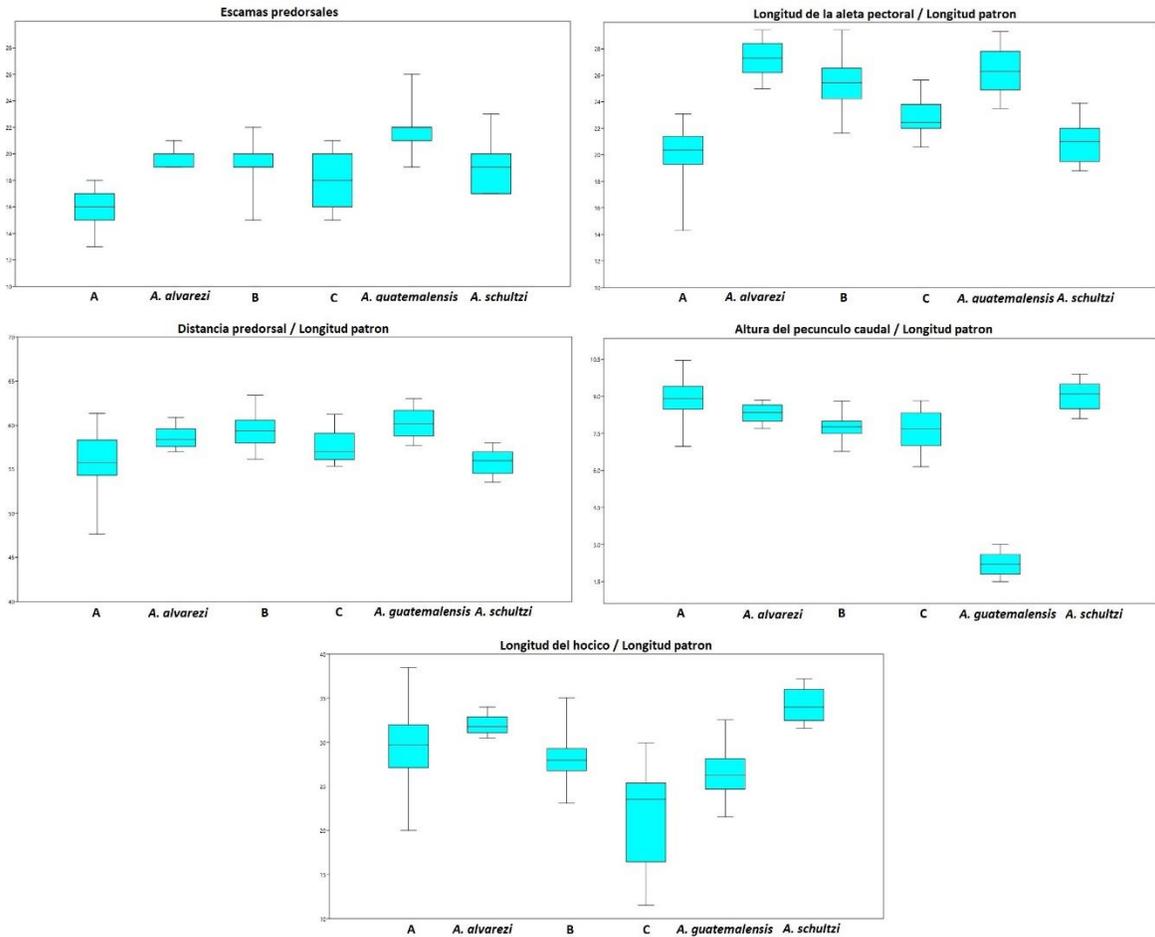
	<b>Variable</b>	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>	<b>Eje 3</b>	<b>Eje 4</b>
<b>M1</b>	Escamas en serie longitudinal.	0.00	0.06	-0.02	0.15
<b>M2</b>	Escamas en serie transversal.	0.12	0.13	0.02	-0.01
<b>M3</b>	Escamas predorsales.	-0.18	0.39	-0.21	0.04
<b>M4</b>	Espinas de la primera aleta dorsal.	0.03	-0.05	-0.05	0.00
<b>M5</b>	Radios de la segunda aleta dorsal.	0.08	-0.10	0.14	0.05
<b>M6</b>	Radios de la aleta anal.	-0.04	0.13	0.04	-0.04
<b>M8</b>	Radios de la aleta pectoral.	-0.00	0.05	0.04	0.17
<b>M9</b>	Longitud de la aleta anal / Longitud patrón.	0.05	0.14	0.19	0.41
<b>M10</b>	Longitud de la aleta pectoral /Longitud patrón.	-0.16	0.49	-0.75	0.88
<b>M11</b>	Longitud de la aleta pélvica /Longitud patrón.	0.04	0.06	0.09	0.28
<b>M12</b>	Distancia predorsal /Longitud patrón.	-0.16	0.22	-0.44	0.44
<b>M14</b>	Longitud del pedúnculo caudal /Longitud patrón.	0.03	0.12	0.08	-0.33
<b>M15</b>	Altura del pedúnculo caudal /Longitud patrón.	0.33	-0.24	-0.16	0.13
<b>M16</b>	Diámetro ocular /Longitud cefálica.	0.09	-0.08	0.33	-0.06
<b>M17</b>	Espacio inter orbital/ Longitud cefálica.	-0.02	0.14	0.22	1.01
<b>M18</b>	Longitud del hocico /Longitud cefálica.	0.22	0.18	0.56	1.43
<b>M19</b>	Longitud cefálica /Longitud patrón.	0.17	-0.06	0.20	0.24

En la tabla 17 se observa que en el primer eje los puntos más altos son M3, M15 y M18, esto indica que las principales diferencias se observan en la cantidad de escamas predorsales, la proporción de la altura del pedúnculo caudal en la longitud patrón y la proporción de la longitud del hocico sobre la longitud cefálica.

En el segundo eje la mayor variación la tienen de nuevo M3, además de M10 (Longitud de la aleta pectoral /Longitud patrón) y M15 (Altura del pedúnculo caudal /Longitud patrón).

En el tercer eje nuevamente aparece M10 y M18, aunque esta vez se suma M12, que corresponde a la proporción de la distancia predorsal sobre la longitud patrón.

Se elaboraron graficas de caja y bigote (Figura 30) que permiten observar el comportamiento de las medias y valores de dispersión en los grupos, para comparar visualmente los resultados y corroborar la diferencia morfológica.



**Figura 30.** Diagramas de caja que muestra los caracteres correspondientes a M3, M10, M12, M15 y M18.

La tendencia que se muestra en M3 (escamas predorsales) es que el grupo A y el Grupo C manejan las medias más bajas, mientras que los grupos B, *A. guatemalensis*, *A. alvarezii* y B manejan las medias más altas con rangos parecidos.

En cuanto a M10 (longitud de la aleta pectoral / Longitud patrón) se puede observar que el grupo A y *A. schultzi* tienen las medias más bajas, mientras que *A. alvarezii* y *A. guatemalensis* mantienen las más altas.

M12 (distancia predorsal / Longitud patrón) muestra a los grupos A y *A. schultzi* mantienen las medias más bajas, mientras que el grupo B y *A. guatemalensis* las más altas.

La tendencia de M15 (Altura del pedúnculo caudal / Longitud patrón) muestra claramente al grupo *A. guatemalensis* con la media más baja, seguido del grupo C, y a el grupo *A. schultzi* con la media más alta, seguido del grupo A.

Por último, M18 (Longitud del hocico / Longitud cefálica) muestra al grupo C con la media menor, seguido de *A. guatemalensis*, mientras que la media más alta la tiene el grupo *A. schultzi*, seguido de *A. guatemalensis*.

## 5. DISCUSIÓN

Este trabajo se presenta como respuesta a la problemática señalada por Castro- Aguirre (1999) y Espinosa-Pérez (2011), utilizando como herramienta a la morfometría, que según Bookstein (1991) es una de las aproximaciones relevantes para esclarecer la distinción taxonómica de las especies.

Se utilizó la morfometría geométrica para definir la existencia de grupos con características similares dentro de los organismos colectados en la zona de estudio en base a procedimientos estadísticos (ACP, AFD, AVC) que permiten evaluar la cantidad de diferencia entre las conformaciones morfométricas resultantes y que facilitan la representación gráfica de los resultados, según lo mencionó Rohlf y Marcus (1993).

El análisis de componentes principales arrojó una variación del 59.79% en los primeros tres componentes (Tabla 3), al graficar el primer componente contra el segundo componente se puede apreciar la formación de 3 grupos, que corresponden a 3 morfo especies (Figura 8), como en el caso de Soria-Barreto (2011). El grupo A separado por la variación del primer componente de B y C, que se separan por la variación del segundo componente.

El grupo A se distingue por presentar la inserción de las aletas dorsales en una posición más anterior que los demás, lo que se refleja en una distancia predorsal menor, una distancia post dorsal mayor y, el origen de la aleta dorsal espinosa en línea vertical con el origen de la aleta anal, es decir, anterior al primer radio. La cabeza es mucho más grande que en los demás grupos, superando el 25% en relación a la Longitud patrón y, por consiguiente, presenta un diámetro ocular mayor también. Variaciones posiblemente causadas por la adaptación a zonas con una corriente fuerte, lo que genera turbidez elevada del agua, generando la necesidad de una mejor visión y aletas posicionadas más anteriormente en el cuerpo para una buena movilidad.

El grupo B se distingue de los demás grupos por presentar la posición del pedúnculo caudal más elevada hacia la parte dorsal, generando una distancia post dorsal menor, al igual que el hocico apuntando hacia la parte dorsal, disminuyendo el ángulo que se forma al dibujar una línea desde el borde posterior del hueso occipital hasta el origen de la premaxila, la longitud de la aleta anal es menor y la altura del cuerpo es mayor medida desde el origen de la aleta pélvica, las aletas pectorales insertadas muy cercanas al borde del hueso opercular, en una

posición más ventral que en los demás grupos. Posiblemente adaptados a zonas de poca corriente con alimento flotante.

Por último, el grupo C se distingue por tener un hocico en posición terminal, apuntando completamente en forma horizontal, aumentando el ángulo que se forma al dibujar una línea desde el borde posterior del hueso occipital hasta el origen de la premaxila, el pedúnculo caudal más alejado de las aletas dorsales, generando una distancia postdorsal mayor, el abdomen comprimido a la altura de la aleta pélvica y la aleta pectoral que se mueve en dirección posterodorsal. Posiblemente modificados para vivir en zonas de corriente moderada, por lo que su cuerpo es aerodinámico.

En el análisis de función discriminante que se realizó para analizar si existen diferencias significativas entre los grupos, y, si estas existen, explicar en qué sentido se dan (De la Fuente, 2011) se obtuvo un 100% de pertenencia en cada uno de los tres grupos (Tabla 4), sin embargo, al realizar la validación cruzada se observa cierto nivel de traslape entre ellos; el grupo A muestra que el 2.3% de sus organismos se traslapan con el grupo B (Tabla 5), mientras que con el grupo C el traslape es de 4.5% (Tabla 6). Esta diferencia es poco significativa y se puede explicar por el tamaño del grupo (es el que contiene más organismos) y por la extensión geográfica que ocupa (su distribución es la más amplia). El traslape que se observa en el par de grupos B-C es más significativa, traslapándose el 50% de los organismos del grupo B en el C, y el 55.5% de los organismos del grupo C en el B (Tabla 7). Esta situación podría ser resultado de tres fenómenos posibles, el primero se refiere a una gran plasticidad fenotípica de un mismo grupo, es decir la “capacidad de los organismos de una localidad particular para que el genotipo de los individuos produzca distintos fenotipos” (Pigliucci, 2001), el segundo se refiere al fenómeno de micro evolución por medio de especiación, que se observa como cambios en la frecuencias de las variantes preexistentes, donde la mayoría de los caracteres muestran variación (Ridley, 2004) y la tercer opción es la posibilidad de una hibridación entre dos grupos, fenómeno que ya es conocido para los atherinopsidos en los peces del género *Chirostoma* del lago de Pátzcuaro, Michoacán (Alaye, 1993) todo refiriéndose a un proceso evolutivo, que aunque es continuo, solo es apreciable a través del tiempo (Folguera, 2010).

Por lo anterior se puede considerar la existencia de tres formas morfológicas, pero posiblemente solo dos morfo especies.

Para determinar si los conjuntos son independientes uno de otro se realizó un análisis de variables canónicas (Badii *et al.*, 2007) que arrojó solo dos variables que explican el 100% de la variación (Tabla 8), la gráfica de la primera variable contra la segunda se muestra con elipses de 90% de confianza donde los grupos presentan un comportamiento similar al obtenido en el Análisis de componentes principales (Figura 21). Las gradillas de deformación confirman los cambios morfológicos que son significativos para separar los grupos, manteniendo la mayor variación en los puntos que refieren a la posición de las aletas dorsales y la longitud cefálica para distinguir al grupo A y la longitud de la aleta anal y posición del hocico para distinguir a B y C (Figuras 22 y 23).

Con la finalidad de extrapolar los resultados a los 101 organismos revisados, se realizó un análisis de componentes principales esta vez con los datos obtenidos para morfometría tradicional. El análisis arrojó una variación del 44.42% en los primeros tres componentes, esta disminución en el porcentaje de la variación acumulada era esperable, ya que las mediciones suelen contener poca información sobre la forma o esta información es ambigua (Tabla 10) (Zelditch *et al.*, 2004), sin embargo, en la figura 24 se puede observar que la conformación de los tres grupos se mantuvo lo que permitió ubicar a los organismos faltantes dentro de alguno. En cuanto a las medidas que resultaron influyentes para los primeros tres componentes se corresponden de manera directa a lo obtenido por morfometría geométrica, pero permitiendo observar rangos y medias, arrojando la mayor variación en la cantidad de escamas predorsales (teniendo el grupo A la menor cantidad con un máximo de 18), la proporción de la distancia predorsal sobre la longitud patrón, el origen de la primera aleta dorsal según los radios de la aleta anal, la cantidad de radios en la aleta anal (teniendo B la menor cantidad con una media de 18), la longitud del hocico (manteniendo el grupo C la menor proporción con una media de 23% de la Longitud cefálica), el diámetro ocular (teniendo C la menor proporción con un mínimo de 27% de la Longitud cefálica) y la altura del pedúnculo caudal (siendo el grupo A el que se separa con una media del 9% de la Longitud patrón). Estas medidas se relacionan directamente con lo ya mencionado en morfometría geométrica, sin embargo este análisis arroja otros datos de importancia que no se pudieron observar anteriormente y que separan al grupo C de los demás por: el espacio interorbital, con la media más baja (27% de la Longitud cefálica) es decir, el grupo C presenta una cabeza mucho más delgada que los demás grupos, la longitud de la aleta pélvica con la

media más baja (11% de la Longitud patrón) y el ancho de la estola , con la media más baja (menor al 1% de la Longitud patrón).

Para cumplir con el segundo objetivo planteado en este trabajo se compararon por medio de morfometría tradicional los grupos obtenidos con las especies reportadas. Como primer paso se ingresaron todos los datos al Análisis de componentes principales que arroja una variación acumulada del 60.29% en los primeros tres componentes (Tabla 12). Al graficar el primer componente contra el segundo se aprecia la separación de las especies *A. alvarezi*, *A. guatemalensis* y *A. schultzi* por la influencia del primer componente, mientras que la relación de estas con los grupos A, B y C está dada por la variación con el segundo componente. Se puede observar la completa independencia de *A. guatemalensis*, mientras que *A. alvarezi* muestra un entrecruzamiento con el grupo B y un poco con el grupo C, mientras que *A. schultzi* se entrecruza con el grupo A (Figura 27).

Las medidas que separan a las especies son principalmente la cantidad de escamas predorsales (con *A. guatemalensis* manejando la media más alta, de 22), la cantidad de radios de la segunda aleta dorsal (con *A. schultzi* presentando entre 9 y 10, siendo la media más alta) y la altura del pedúnculo caudal (con *A. guatemalensis* manejando la media más baja, con el valor máximo en 3% de la Longitud patrón). Mientras que la separación con respecto a los grupos viene dada por la cantidad de escamas en serie longitudinal, (donde la mayor variación se da entre el grupo A y *A. schultzi* con 36-38, 38-39 respectivamente), los radios de la aleta anal (variando A y *A. schultzi* con 19-20 y 20-22 respectivamente) y los radios de la aleta pectoral (variando *A. alvarezi* de B y C con 13-14, 13, 11-13 respectivamente).

En el Análisis de función discriminante las especies mantienen un 100% de organismo dentro de sí, mientras que los grupos se entrecruzan de la misma manera que fue descrita en morfometría geométrica, sin llegar a cruzarse con las especies (Tabla 15).

Al graficar los dos primeros ejes se observa la relación de los grupos A, B y C muy cercana, mientras que las especies se mantienen separadas de ellos. Cabe destacar que *A. alvarezi* y *A. schultzi* mantienen una relación muy cercana. (Figura 28). Los vectores de las medidas arrojan más información sobre los datos que diferencian las agrupaciones mostrándonos que *A. schultzi* se separa por la longitud del hocico de los demás grupos, observándose la mayor variación con el grupo C (teniendo una media de 34% y 23% de la Longitud cefálica respectivamente), mientras que, junto con *A. alvarezi*, se distinguen de los demás grupos por

la cantidad de escamas en serie transversal (manteniendo *A. schultzi* de 10 a 11, *A. alvarezii* 9.5, A de 6.5 a 8, B y C 7 y *A. guatemalensis* de 6 a 7) y la distancia predorsal que separa al grupo A de todos los demás teniendo la menor media de 56% de la longitud patrón, mientras que *A. guatemalensis* maneja la media mayor con 61% (Figura 29).

Todo lo anterior es un acercamiento morfológico a la taxonomía del género *Atherinella* en Chiapas, que resulta en el descubrimiento de 3 formas patrón, estas se generaron por medio de la morfometría geométrica, sin embargo, se complementan por medio del uso de las medidas tradicionales, cuya utilidad en el reconocimiento de especies es altamente conocida en trabajos donde se destaca la necesidad de buscar nuevas características morfológicas que avalen las diferencias entre especies cuya biología es desconocida o poco estudiada (González *et al.*, 2005). Es innegable que los datos morfométricos tradicionales son útiles para la descripción de estas morfo tipos, sin embargo, el uso de la morfometría geométrica permitió observar cambios (como la posición del hocico) que con morfometría tradicional serían muy difíciles de descubrir.

Estas formas no coinciden con las especies reportadas para la zona, confirmando la propuesta de Espinosa-Pérez *et al.* (2011) de la existencia de más de una especie desconocida, además de dar una explicación a las dificultades de identificación reportadas en Castro-Aguirre *et al.* (1999), Lozano-Vilano *et al.* (2007), Castro-Aguirre y Espinosa-Pérez (2006).

Aunque se aclaran las distinciones entre estas formas, no se pueden generar descripciones de las especies ya que los análisis realizados solo son una aproximación a la taxonomía, definiendo solo las variaciones morfométricas, sin tomar en cuenta otras variables importantes como son las ecológicas, biogeográficas, etológicas, genéticas, etc.

## 5.1 CONCLUSIONES

Este trabajo aumenta el conocimiento taxonómico del género *Atherinella*, en Chiapas, México. Compara los organismos presentes en la CNPE etiquetados como *A. Alvarezzi* con los datos bibliográficos de las especies reportadas para la zona y da una visión de los organismos que se encuentran actualmente con más frecuencia en el Estado. A pesar de que se confirma la existencia de taxones no descritos, no se puede confirmar la presencia de especies nuevas puesto que los análisis presentados son exploratorios, comparativos y no analizan los semaforantes, por lo que no es posible realizar una descripción formal de los taxones ni desarrollar una clave taxonómica.

En este trabajo se discriminan 3 grupos cuyas diferencias más notorias corresponden a: la posición de las aletas dorsales, la longitud cefálica, la longitud de la aleta anal, la posición del hocico y la posición del pedúnculo caudal. En dos de los grupos (B y C) se observa un traslape que puede referirse a procesos constantes tanto de especiación como de hibridación, en el otro grupo (A) se ve claramente la separación por lo que hasta este punto se concluyen tres formas patrón.

En la comparación con datos bibliográficos existen dos factores; en análisis de componentes principales se observa un ligero traslape entre las especies y los grupos, *A. Schultzi* con el grupo A, y *A. alvarezzi* con los grupos B y C, mientras que *A. guatemalensis* permanece independiente. En las pruebas confirmatorias que corresponden al Análisis de función discriminante las tres especies muestran separación entre sí, aunque las elipses de confianza de *A. schultzi* y *A. alvarezzi* se superponen parcialmente, en cuanto a la separación con los grupos es completa. Con lo que se concluye para esta faceta del experimento que las especies reportadas no coinciden con las que se encuentran en el Estado, lo que sugiere la presencia de más taxones que los reportados, ó un patrón de plasticidad excesivo en el grupo.

La hipótesis que se cumple en el trabajo es la alterna puesto que los organismos presentan una gran variación morfológica y no coinciden con lo que esta reportado para la zona.

Finalmente, con base a la gran dificultad de identificación, superposición en rangos de mediciones y los análisis realizados en este trabajo, se propone que los organismos han variado su forma como resultado de un conjunto de procesos biológicos que ejercen presión sobre el grupo, como la adaptación a factores geográficos locales o diversificación evolutiva a largo plazo.

## 6 LITERATURA CITADA

- Alaye, R. N. 1993. **El pescado blanco (género *Chirostoma*) del lago de Patzcuaro, Michoacan, composición de especies.** Ciencia pesquera. Instituto Nacional de Pesca. Secretaria de Pesca de México. (9) 113- 128.
- Alvarez, J. y Carranza, J. 1952. **Cuatro especies nuevas de peces dulceacuícolas del Sureste de México.** Ciencia, 11(10-12), 281-289.
- Badii, M. H., J. Castillo, K. Cortez, A. Wong y P. Villalpando. **Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica.** Innovaciones de negocios. 4 (2): 405-422.
- Bloom, D. D., Unmack, P. J., Gosztonyi, A. E., Piller, K. R. y Lovejoy, N. R. 2012. **It's a family matter: Molecular phylogenetics of Atheriniformes and the polyphyly of the surf silversides (Family: Notocheiridae).** Molecular Phylogenetics and Evolution, 62(3), 1025–1030.
- Bookstein, F.L. 1991. **Morphometric tools for landmark data: geometry and biology.** Cambridge University Press, Cambridge.
- Castro-Aguirre, J. L., y Espinosa-Pérez, H. 2006. **Los peces de la familia Atherinopsidae (Teleostei: Atheriniformes) de las lagunas costeras neutras e hipersalinas de México.** Hidrobiológica, 16(1), 89–101.
- Castro-Aguirre, J. L., Espinosa-Pérez, H., y Schmitter-Soto, J. J. 1999. **Ictiofauna Estuarino-Lagunar y Vicaria de México.** México: Colección de Textos Politécnicos, LIMUSA.
- Castro-Aguirre J. L. y H. Espinosa-Pérez. 2006. **Los peces de la familia Atherinopsidae (Teleostei: Atheriniformes) de las lagunas costeras neutras e hipersalinas de México.** Hidrobiológica 16 (1): 89-101.
- Chernoff, B. 1986. **Phylogenetic relationships and reclassification of Menidiinae silverside fishes with emphasis in the tribe Membradini.** Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 138(1), 189–249.
- Chernoff, B. 1986. **Systematics of American Atherinid Fishes of the Genus *Atherinella*. I. The Subgenus *Atherinella*.** Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 138(1), 86–188.

- Chernoff, B. y Miller, R. R. 1984. ***Atherinella ammophila*. A new atherinid fish from eastern México**. Notulae Nature, (462), 1–12.
- De la Fuente, S. 2011, **Análisis discriminante**. Facultad de ciencias económicas y empresariales, UAM.
- Del Moral, 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 México. 600.
- Diario Oficial de la Federación. 2010. **Acuerdo por el que se da a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de las subregiones hidrológicas Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva de la región hidrológica no. 30 Grijalva-Usumacinta**. México.
- Díaz-Pardo, E. 1972. **Descripción de un nuevo atherínido de Villa Hermosa, Tabasco, México**. An. Esc. Nac. Cien. Biol., 19, 145–153.
- Espinosa-Pérez, H. 2014. **Biodiversidad de peces en México**. Revista mexicana de biodiversidad, 85(SUPLL.), 450-459.
- Espinosa-Pérez, H., Valencia-Díaz, X. y Rodiles-Hernández, R. 2011. **Peces dulceacuícolas de Chiapas**. En Álvarez, F. (Coordinador), *Chiapas, estudio sobre su diversidad biológica* (pp. 401-457). D.F.: UNAM, Instituto de Biología.
- Fischer, W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K.E.; Niem V.H. 1995 **Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca**. Volumen II Vertebrados - Parte 1., FAO2:647-1200.Roma
- Folguera, G. 2010. **La relación entre micro evolución y macro evolución desde la síntesis biológica: entre las diferencias y las similitudes**. Filosofía e historia da biología. 5(2), 276-294.
- Foster, K., Bower, L., y Piller, K. 2015. **Getting in shape: Habitat-based morphological divergence for two sympatric fishes**. Biological Journal of the Linnean Society, 114(1), 152–162.
- González, A. A., E. Pardo, M. Barreto y R. Rodiles 2005. **Análisis morfométricos de los peces del grupo Labialis, género *Profundulus* (Cyprinodontiformes: Porfundulidae), en Chiapas, México**. Revista Mexicana de Biodiversidad. 198 (76), 55-61.

- Günther, A. 1864. **Report of a collection of fishes made by Messer, Godman and Salvin in Guatemala.** Proceedings of the Zoological Society of London, 1(3), 144–154.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. **PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.** Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp.
- Hubbs, C. L., y Lagler, K. L. 1958. **Fishes of the great lakes region.** Cranbrook Institute of Science Bulletin, 2(26), 1–213.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2013. **Conociendo Chiapas**
- Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, 2015, Peces costeros del gran caribe, sistema de información en línea.
- Jaramillo, N.O. 2011. **Morfometría Geométrica: Principios Teóricos y Métodos de Empleo.** Research Gate. Universidad de Antioquia. Colombia, 1, 1-23.
- Klingenberg, C. P. 2011. **MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics.** Molecular Ecology, 11, 353–357.
- López, G. A. 2015. **Morfometría Geométrica: el estudio de la forma y su aplicación en biología.** Temas de ciencia y tecnología. Universidad de mar. 19. (55). 53-59.
- Lozano-Vilano M. L., M. E. García-Ramírez, S. Contreras-Balderas y C. Ramírez-Martínez. 2007. **Diversity and conservation status of the Ichthyofauna of the Río Lacantún basin.** Zootaxa. 1410: 43-53.
- in the Biosphere Reserve Montes Azules, Chiapas, México
- Miller, R.R., Minckley, W.L. y Norris, S.M. 2009. **Peces Dulceacuícolas de México** (Primera ed.). D.F.: CONABIO, Sociedad Ictiológica Mexicana, ECOSUR y Consejo de Peces del Desierto.
- Mayr, E., Gorton, L.E. y Usinger, R.L. 1953. **Methods and Principles of Systematic Zoology.** (E.J. Boell, Ed.) (1st ed.). New York: McGRAW COMPANY.
- Nelson, J.S., Grande, T. & Wilson, M.V. 2016. **Fishes of the world.** (Fifth edit). New Jersey. John & Sons.
- Pigliucci, M. 2001. **Fenotypic plasticity.** John Hopknis University Press. Baltimor.

- Ridley, M. 2004. **Evolution**. Oxford University Press, Oxford. pp458.
- Rodiles-Hernández, R., González-Díaz, A. A., y Chan-Sala, C. 2005. **Lista de peces continentales de Chiapas, México**. Hidrobiológica, 15(especial 2), 245–253.
- 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. **tps UTIL, file utility program. Version 1.26**. Department of Ecology and Evolution. State University of New York at Stony Brook.
- Rohlf, F.J. & Marcus, L.F. 1993. **A revolution in morphometrics**. Trends in Ecology and Evolution 8: 129-132.
- Schreck, C. B. y P. B. Moyle, editors. 1990. **Methods for fish biology**. American Fisheries Society. Bethesda. Maryland.
- SEMARNAT (2012) **Programa de acciones y proyectos para sustentabilidad hídrica vision 2030 Estado de Chiapas**. Organismo de Cuenca frontera sur, Tuxtla Gutierrez, Chiapas.
- 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, I. M. V.; Manriquez, S. G. y Suazo, G. I. 2010. **Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa**. Int. J. Morphol, 28(4), 977–990.
- Zelditch, M. L., Swiderski, D.L., Sheets, H. D. y Fink, W. L. 2004. **Geometric morphometrics for biologist: a primer**. Elsevier. USA.

## 7 ANEXOS

### 1. Clasificación taxonómica de las especies estudiadas según Nelson (2016)

Phylum Chordata

Subphylum Craniata

Infraphylum Vertebrata

Superclase Gnathostomata

Grado Teleostomi

Clase Osteichthyes

Subclase Actinopterygii

División Teleostomorpha

Subdivisión Teleostei

Supercorte Teleocephala

Corte Euteleostei

Superorden Acanthopterygii

Serie Percomorpha

Subserie Ovalentaria

Infraserie Atherinomorpha

Orden Atheriniformes

Suborden Atherinopsoidei

Familia Atherinopsidae

Subfamilia Menidiinae

Tribu Membradini

Género *Atherinella*

Especies *Atherinella alvarezi*

*Atherinella guatemalensis*

*Atherinella schultzi*

2. Cuadro comparativo entre las especies *A. alvarezii*, *A. guatemalensis* y *A. schultzi*

<b>Característica</b>	<b><i>A. alvarezii</i></b>	<b><i>A. guatemalensis</i></b>	<b><i>A. schultzi</i></b>
<b>Escamación</b>	Escamación completa	Escamación completa	Escamación variable <sup>2</sup>
	De 36 a 39 escamas en serie longitudinal	De 35 a 40 escamas en serie longitudinal	De 37 a 39 escamas en serie longitudinal
	9 ½ escamas en serie transversal <sup>1</sup>	6 escamas en serie transversal	De 10 a 11 escamas en serie transversal <sup>3</sup>
	De 19 a 21 escamas predorsales	Escamas predorsales más anchas que largas	De 17 a 23 escamas predorsales <sup>4</sup>
<b>Boca-Hocico</b>	Boca terminal	Boca terminal	Boca grande y oblicua
	El hocico cabe de 2.9 a 3.2 veces en la Longitud Cefálica	El hocico apuntando anteriormente	El hocico puntiagudo, cabe de 2.7 a 3.1 veces en la Longitud Cefálica
	Mandíbula superior igual que la inferior en el borde anterior, o la inferior un poco menor	Mandíbula inferior inclinada fuertemente hacia arriba, a veces se incluye en la maxila superior	Mandíbula inferior incluida en la maxila superior
<b>Coloración</b>	Cuerpo translúcido, verduusco	Pigmentación variable, irregularmente pigmentado	Los ejemplares preservados en alcohol presentan fondo amarillo crema
	Con una banda o estola de pigmento negro <sup>5</sup>	Estola que se extiende desde el margen posterodorsal de la faja pectoral a la base de la aleta caudal	La estola es de tono oscuro, sin pigmento plateado
	La aleta anal marginada de oscuro	Manchas de pigmentación oscura a cada lado de la aleta anal, asociado con la base de los radios	Las aletas presentan algunos cromatóforos, especialmente en la parte media de espinas y radios
	En la región postdorsal de la cabeza, el pigmento se acumula formando una U o una V.	Pigmento cerebral posterior en forma de corazón con la muesca sin pigmentar profundamente	Mancha occipital bastante notable, que deja en el centro una manchita clara redondeada
<b>Dentario</b>	Los dientes en ambas mandíbulas en más de una serie.	Los dientes en el dentario pueden organizarse en dos filas.	Los dientes en ambas mandíbulas en bandas.

	Los dientes de la serie externa curvados y a manera de caninos.	Fila exterior de los dientes del dentario cónica, recurvado, ligeramente más grande en serie lateral.	Dientes en ambas mandíbulas pequeños, los de la serie externa poco mayores.
<b>Aletas</b>	Aleta anal con 1 espina y 19 a 22 radios.	Aleta anal con 1 espina y 20 a 26 radios.	Aleta anal con 1 espina y 20-24 radios.
	Origen de la primera aleta dorsal sobre el 1er o 2do radio de la aleta anal.	Origen de la primera aleta dorsal sobre el 6º radio de la aleta anal.	Origen de la primera aleta dorsal en la mitad posterior del cuerpo.
	Aletas pectorales con ápice que llega al ano y son siempre mayores que las pélvicas.	Aleta pectoral se extiende a, pero no más allá de la vertical desde la punta de las aletas pélvicas.	Inserción de las aletas pélvicas aproximadamente debajo de la mitad de las pectorales.
<b>Cabeza</b>	La longitud cefálica cabe 3.4 a 4 veces en la LP.	La longitud cefálica cabe más de 4 veces en la LP.	La Longitud cefálica <sup>6</sup> cabe 3.5 a 3.7 veces en la LP.
<b>Forma del cuerpo</b>	Cuerpo grácil, moderadamente comprimido.	Cuerpo profundo anteriormente, comprimido lateralmente.	Cuerpo alargado, moderadamente comprimido.
<b>Pedúnculo caudal</b>	La altura del pedúnculo cabe 2 veces aproximadamente en la longitud del mismo.	Pedúnculo caudal más largo que ancho, relación de longitud anchura 1.6 a 2.5.	Altura mínima del pedúnculo caudal cabe 10 a 12 veces en la LP.
<b>ojo</b>	Diámetro ocular 2.4 a 3,5 veces en la Longitud Cefálica.	Ojo del 40% de la longitud Cefálica.	El ojo cabe de 2.4 a 2.8 veces en la Longitud Cefálica.

- 1 contadas del origen de la aleta dorsal espinosa al origen de las aletas pélvicas.
  - 2 incompleta anteriormente, a menudo con faltas en la parte posterior de la base de la aleta pectoral, o la región antero dorsal del tórax cerca de la cabeza.
  - 3 contadas desde el origen de la aleta anal hasta la base de la aleta dorsal.
  - 4 contadas a partir del occipital.
  - 5 que va del borde del opérculo a la base de la aleta caudal.
  - 6 incluyendo la membrana opercular.
- Tomado de (Díaz-Pardo, 1972), (Chernoff, 1986), (Alvarez y Carranza, 1952) y (Chernoff y Miller, 1984).

### 3. Localidades de los organismos

# Catalogo	Localidad	20843	Río Ixcán.
19954	Río Tzendales.	20857	Río Lagartos.
19969	Arrollo San Pablo.	20870	Río Manzanares.
19975	Río Chajul.	20877	Río Tzendales.
19988	Río Ixcán.	20885	Río Chajul.
19993	Río Manzanares.	20890	Río Puerto Rico.
19995	Río Lagartos.	20911	Río José.
19999	Arrollo San José.	20919	Río Lacanjá.
20273	Río Puerto Rico.	20931	Humedal Lacanja.
20277	Arrollo San Pablo.	20945	Arrollo San Pablo.
20280	Río Chajul.	21081	Río Lacanjá.
20281	Río Miranda.	21113	Río Chajul.
20286	Arrollo San José.	21124	Río Manzanares.
20301	Río Ixcán.		
20303	Río Manzanares.		
20309	Río Lagartos.		
20326	Arrollo San José.		
20437	Río Puerto Rico.		
20443	Arrollo San Pablo.		
20453	Río Chajul.		
20458	Brazo del Lacantún junto al Chajul (Chajulillo).		
20467	Arrollo San José.		
20469	Río Ixcán frente al embarcadero de El Ixcán.		
20480	Río Manzanares.		
20486	Río Lagartos.		
20515	Humedal Lacanja.		
20516	Río Miranda.		
20842	Río Miranda.		