



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**ANATOMÍA DESCRIPTIVA DEL ENCÉFALO DE
DOS ESPECIES DE LA FAMILIA ARIIDAE:
Cathorops aguadulce y *Ariopsis felis*
(SILURIFORMES)**

TESIS

Que para obtener el grado de
Bióloga

P R E S E N T A

Buendia Ayala Cristina Irma

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Luis Fernando del Moral Flores



Los Reyes Iztacala, Edo. De México, 2019



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.

**ANATOMÍA DESCRIPTIVA DEL ENCÉFALO DE DOS ESPECIES
DE LA FAMILIA ARIIDAE: *Cathorops aguadulce* y *Ariopsis
felis* (SILURIFORMES)**

TESIS

Que para obtener el grado de
Bióloga

Presenta

Buendia Ayala Cristina Irma

Director de tesis

Dr. Luis Fernando del Moral Flores

Sinodales

Dra. Patricia Ramírez Bastida
M. en C. Jonathan Franco López
M. en C. Atahualpa Eduardo de Sucre Medrano
M en C. Mario Chávez Arteaga

Índice

Resumen	6
Introducción	8
El sistema nervioso en los peces	8
El encéfalo de los peces	10
Orden Siluriformes	12
Familia Ariidae	12
<i>Cathorops aguadulce</i>	14
<i>Ariopsis felis</i>	15
Antecedentes	17
Objetivos	19
General	
Particulares	
Materiales y métodos	20
Campo	20
Laboratorio	21
Descripción morfométrica de los peces (estructura de la población)	22
Descripción morfológica del encéfalo	22
Descripción morfométrica del encéfalo	23
Análisis de datos	24
Resultados	25
Descripción morfométrica de los peces (estructura de la población)	25
Descripción morfológica y morfométrica del encéfalo	30
Discusión	39
Conclusiones	44
Referencias	45

DEDICATORIA

A mis padres y a la memoria de mi abuelita Cris

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por brindarme los espacios para mi formación académica desde el bachillerato ya que ahí conocí a la persona que me animó a no abandonar el sueño de ser bióloga.

A mi tutor el Dr. Fernando que me recibió, apoyo y confió en mí para que pudiera desarrollar esta tesis, otros trabajos y asistir a congresos para fomentar mi crecimiento escolar, me dio consejos y cuando fue necesario me dio ánimos.

A mis padres (los principales) que sin ellos sería mucho más difícil mi camino, siempre me apoyan incondicionalmente, me animan a ser mejor persona y profesionista cada día, me regañan y me felicitan cuando deben hacerlo. Sin ellos mi sueño de ser bióloga sería un imposible. Las únicas personas en el mundo que jamás me han abandonado no importa lo difícil que sea, a veces se cansaban de mi proyecto, de escucharme hablar de cosas raras, de mi mal humor al ver que no avanzaba, de mis gastos y constantes salidas a campo, a pesar de lo no se rindieron.

A mis amigos que, aunque son pocos dieron su granito de arena para apoyarme en el trayecto de la realización de este proyecto, me apoyaron desde lo emocional cuando pensaba en rendirme, hasta explicarme temas que no podía comprender. Gabita por no dejarme caer en mis momentos más difíciles, Itzel por su interés en mis avances y escucharme siempre hablar de cerebros sin cansarse, Iván por animarme siempre a terminar este proyecto y Cande por brindarme de manera extraordinaria sus conocimientos.

Por último pero no el menos importante, le agradezco a mi abuelita Cris por darme enseñanzas valiosas para la vida que me acompañan y me hacen siempre querer mejorar, le agradezco por que me acercó tal vez indirectamente a el hermoso mundo de la Biología, no pude decírtelo pero dejarme cerca de tus libros día con día me forjó la meta de comprenderlos y conocer aún más, fuiste y seguirás siendo mi ejemplo de vida (de trabajo, esfuerzo, dedicación y de nunca conformarme).

RESUMEN

Todos los seres vivos, sufren modificaciones filogenéticas, entre las cuales se encuentran las estructuras del sistema nervioso, relevantes en la estructura adaptativa a los ambientes y modos de vida. Todos los vertebrados sufren dichas modificaciones, en donde el sistema nervioso permite una coordinación e interacción con el medio. Cada vez que el ambiente sufre una alteración o un cambio, el sistema nervioso genera respuestas que pueden afectar al sistema sensoriomotor.

Como parte principal del sistema nervioso está el encéfalo ya que en controla la mayoría de las funciones fisiológicas del organismo. La morfología del encéfalo puede variar de acuerdo con las condiciones ambientales a las que están sometido por lo que en los peces óseos se han encontrado variaciones en la estructura del encéfalo, como lo es el tamaño y forma de los lóbulos ópticos, tractos olfatorios y cerebelo.

Debido a que existe una enorme diversidad de ambientes es que hay gran cantidad de familias de peces, entre ellas la familia Ariidae que tiene 43 especies registradas en Centroamérica, México y Estados Unidos, entre las cuales están *Cathorops aguiladulce* es exclusiva de ambientes estuarinos y dulceacuícolas y *Ariopsis felis* está presente en sistemas marinos y en ocasiones incursiona en sistemas estuarinos.

A pesar del conocimiento de distribución de los géneros de la familia, aún existen problemáticas para su adecuada clasificación taxonómica, por lo que este trabajo pretende caracterizar diferencias entre los géneros *Cathorops* y *Ariopsis*, mediante la estructura del encéfalo, para ello los organismos se recolectaron en la Laguna de Alvarado y Playa de Barrancas, Veracruz, México, para conservarlos se fijaron con formol (10%). Se identificaron utilizando claves taxonómicas especializadas, se tomó y se registró la longitud patrón, así como la longitud y altura cefálica, se realizó una disección del encéfalo de 29 hembras y 26 machos, registrando la longitud, ancho y alto total del cerebro, se describió su forma y tamaño, para hacer una comparación entre las dos especies (*Cathorops aguiladulce* y *Ariopsis felis*).

Las tallas de los organismos registradas entre las dos especies oscilan entre 103.3 y 263 mm y en las unidades estructurales del encéfalo ambas especies presentan el mismo patrón morfológico común de acuerdo la disposición de las unidades morfofuncionales básicas (telencéfalo, diencéfalo y mesencéfalo).

Los valores de los encéfalos oscilan, en longitud y ancho total entre 15.2 ± 3.7 mm (Largo) y 6.3 ± 1.3 mm (Ancho) respectivamente para *C.*

aguadulce; mientras que para *A. felis* se tiene los valores en promedio de 15.5 ± 3.2 mm (L) y 6.6 ± 3.3 mm (An), lo que nos indica que existe por ende mayor L en el encéfalo de *C.aguadulce*, mientras que los encéfalos de *A. felis* presentan un mayor An.

El sistema nervioso de los peces

Todos los seres vivos, experimentaron numerosas y diversas modificaciones a lo largo de su desarrollo filogenético. En este sentido, las estructuras del sistema nervioso de vertebrados y las diversas funciones que realizan, constituyen la base de las modificaciones adaptativas a diversos ambientes y modos de vida que han asumido para preservar su existencia, por lo que la función más importante del sistema nervioso en los peces es la coordinación e interacción entre el animal y el medio ambiente (Meek & Nieuwenhuys, 1998; Strieder, 2005).

Las respuestas que se dan por parte del sistema nervioso pueden corresponder a ciertos cambios del medio ambiente, como lo son las variaciones de temperatura de acuerdo con las estaciones anuales y los cambios en el fotoperiodo. Estas respuestas también pueden afectar a las glándulas endocrinas, secretando hormonas que actúan sobre los diferentes órganos de los peces. Las secreciones hormonales tienen influencia sobre órganos específicos o sobre las propias glándulas endocrinas, pero también las secreciones tienen un efecto difuso en el metabolismo general. Esto denota la amplia relación que existe entre el sistema nervioso y el endocrino, a pesar de ser sistemas independientes (Lagler *et al.*, 1984). Todas estas interacciones son variadas debido a la gran variedad de hábitats que ocupan los peces.

El desarrollo del sistema nervioso en los peces es idéntico al resto de los vertebrados, el cual, poco después de la gastrulación se forma en posición dorsal. A partir del ectodermo se forma la placa neural para la formación posterior del tubo neural. Algunas células de la placa neural se diferencian en neuronas y otras en células de Schwann, que sirven para la protección de las fibras nerviosas (Nadal, 2001).

Dentro del tubo neural se pueden distinguir estructuras sensoriales y motoras. En las primeras etapas del desarrollo embrionario de manera simétrica, a cada lado, se agregan células de la cresta neural, como lo son las dendritas y los axones. Estas últimas forman parte de los componentes sensitivos y motores que inervan una porción concreta y limitada del cuerpo (Nadal, 2001). La parte posterior de la porción anterior del tubo neural va a experimentar un crecimiento diferencial para la formación de tres engrosamientos que durante su desarrollo darán origen al encéfalo (Fig. 1).

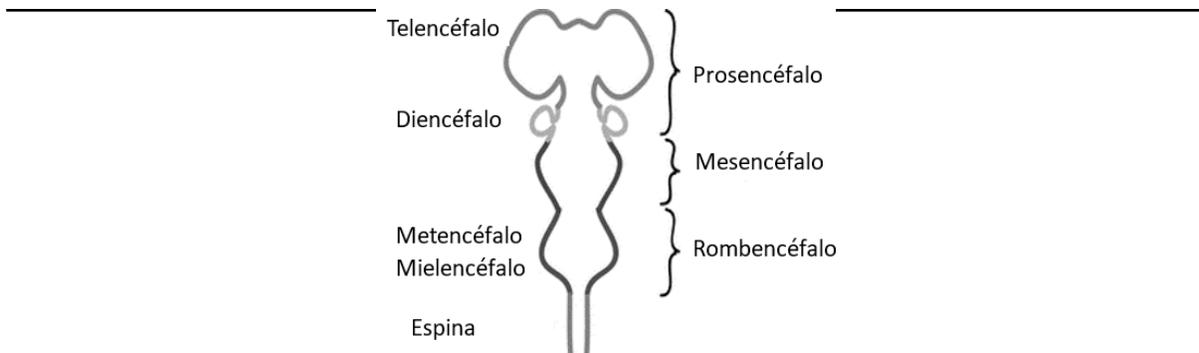


Figura 1. Esquema representando el crecimiento diferencial de la porción anterior del tubo neural en peces (Tomado de Wulliman *et al.*, 1996).

En el grupo de los peces el Sistema Nervioso (SN) se divide en un sistema cerebroespinal y el sistema autónomo del cual existe una clasificación artificial que comprende todos los ganglios, núcleos, tractos, así como nervios motores y sensitivos de las vísceras, como: el sistema digestivo, respiratorio, excretor y reproductor, además de vasos sanguíneos, corazón y glándulas tegumentarias.

El sistema cerebroespinal está formado a su vez por el sistema nervioso central y el sistema periférico. El primero se conforma por el encéfalo y la médula espinal; el segundo está constituido por nervios craneales, espinales y el conjunto de nervios asociados a los órganos de los sentidos. Estos órganos pertenecen a la sensibilidad somática y son inervados por los nervios anteriores y posteriores. Así, en teleósteos el nervio de Weber comprende un conjunto de fibras laterales que corren en un nervio posterolateral y dan configuración a la línea lateral, típica en el grupo íctico (Nadal, 2001) (Fig. 2).

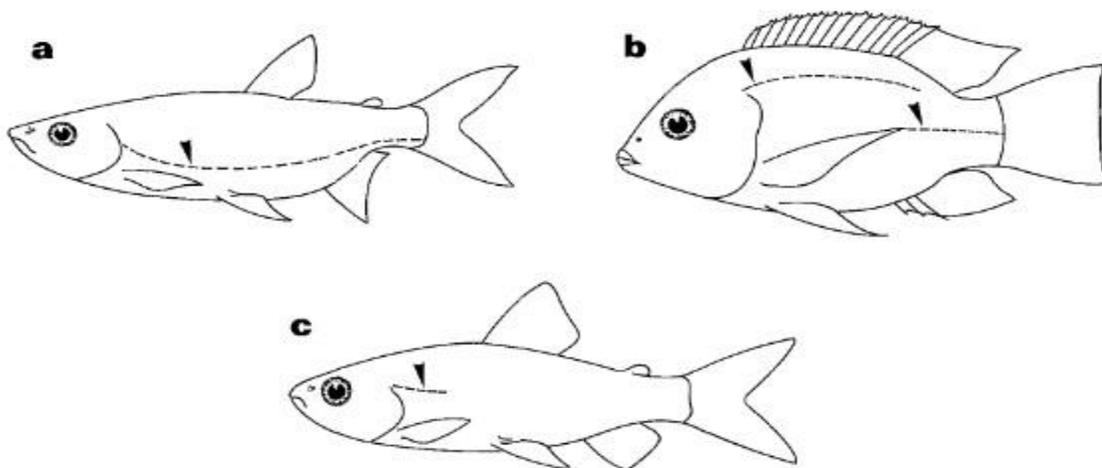


Figura 2. Esquemas representativos de tres modelos de líneas laterales según sea completa (a), interrumpida (b) o incompleta (c) (Tomado de Anzueto-Calvo, 2010).

Existen, además, otras estructuras como las barbillas, cirros, ojos y narinas, las cuales responden a los estímulos del medio ambiente desviando los impulsos a las glándulas o músculos del pez (Moyle & Cech, 1982; Lagleret *al.*, 1984). Dichas adaptaciones son visibles de manera externa por medio de los órganos de los sentidos, que se distinguen o son propios en diferentes niveles taxonómicos, incluso en ordenes o familias completas (Takashima, 1995). Por ejemplo, en el caso del orden de Siluriformes, cuyos representantes presentan al menos dos pares de barbillas (mentonianas y maxilares); en la familia Holocentridae los ojos son muy grandes, ocupan más de la mitad de la longitud cefálica; y en la familia Centropomidae existe una línea lateral muy marcada, que se extiende más allá del pedúnculo caudal (Fig. 3).

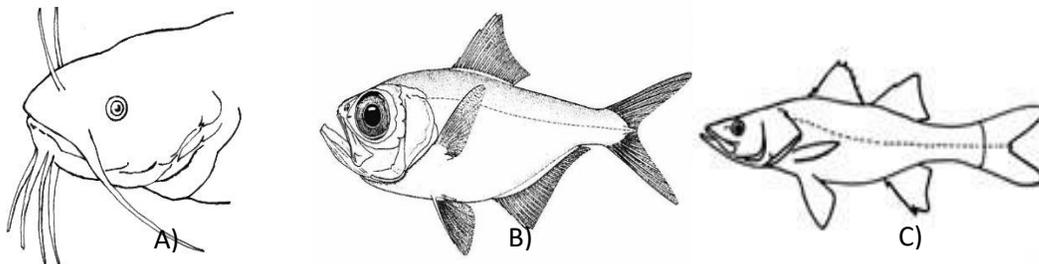


Figura 3. Representación de los órganos de los sentidos en las familias: A) Ariidae, B) Holocentridae y C) Centropomidae (Tomado de Anzueto-Calvo, 2010).

Estas adaptaciones muestran un grado de diferenciación apenas comparable con otros grupos de vertebrados. Ya que, a lo largo de la historia evolutiva, los teleósteos han estado sujetos a diversas presiones de selección dando como resultado una alta especialización de capacidades y habilidades, tanto sensoriales como cognitivas, así como de supervivencia (Northcutt 1988, 2001; Wulliman & Northcutt, 1998). Dichas especializaciones están directamente reflejadas en la morfología del encéfalo, y en parte explica las relaciones filogenéticas, la enorme taxonomía, la diversa morfología y la diversidad ecológica de los peces en el mundo (Angulo & Langeani, 2017).

El encéfalo en los peces

La transición del medio acuático al terrestre implicó grandes cambios en la organización estructural y funcional, particularmente del sistema nervioso. A pesar de los procesos evolutivos que han sufrido, en los peces el encéfalo surge a partir de los mismos tres engrosamientos o subdivisiones básicas características de grupo de los vertebrados (Northcutt, 1981). Por tanto, el encéfalo (también llamado cerebro) de los

peces es considerado como una prolongación del extremo anterior de la médula espinal con diferencias de crecimiento (Northcutt, 1981; Lagler *et al.*, 1984).

En las subdivisiones básicas del encéfalo, de la parte anterior a la posterior, se encuentra (Fig. 4): el prosencéfalo o cerebro anterior, que se dedica principalmente a la recepción, elaboración y conducción de los impulsos olfativos, se divide a su vez en diencefalo (tálamo, epitálamo, hipotálamo y subtálamo) y telencefalo (hemisferios cerebrales, sistema olfatorio y ganglios basales); el mesencéfalo o cerebro medio (tectum), se centra en funciones visuales; finalmente, el rombencéfalo o cerebro posterior, es considerado la parte más primitiva del sistema nervioso central y se encarga de las funciones más básicas para la supervivencia del pez, como es la respiración y el ritmo cardiaco, se divide en mielencéfalo y metencéfalo (médula oblonga, puente y cerebelo) (Carpenter, 1976; Lagler *et al.*, 1984; Puelles *et al.*, 2008).

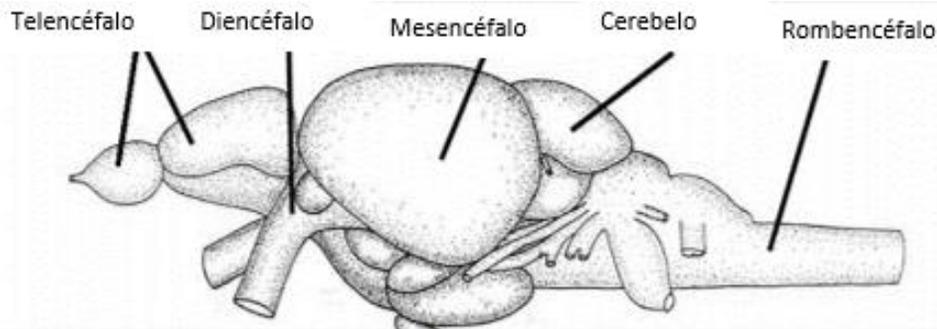


Figura 4. Esquema representativo de la regionalización del encéfalo de un teleosteo (Tomado de Wulliman, *et al.*, 1996).

Orden Siluriformes

Los peces del orden Siluriformes son conocidos como peces gato por la presencia de dos a tres pares de barbillas distribuidas en el mentón y maxila (Fig. 5). Se caracterizan, además, por presentar una aleta adiposa entre la aleta dorsal y caudal; en las aletas pélvicas, pectorales y dorsal presentan una espina con aserraciones; en la región cefálica tienen una modificación del neurocráneo a manera de placas fuertes; además existe un acomodo específico de parches dentales que son de vital importancia en la taxonomía del grupo (Arratia *et al.*, 2003).

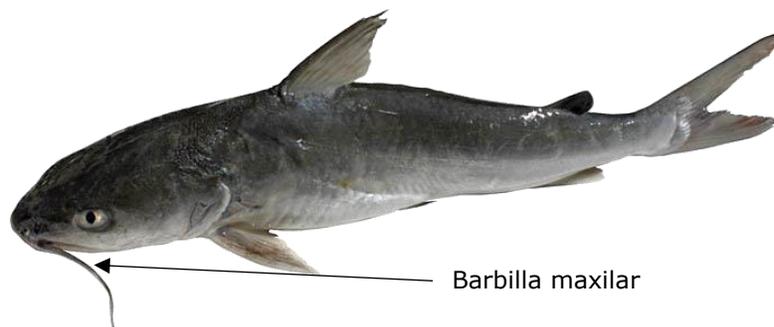


Figura 5. Imagen representativa del orden Siluriformes. Se señala la barbilla maxilar.

Dicho orden se encuentra representado por 34 familias, 402 géneros y aproximadamente 2,400 especies. Estas habitan en aguas dulces, salobres y marinas, tanto en zonas tropicales y templadas. Más del 50% de las especies se encuentra en América y las familias más representativas son Plotosidae y Ariidae, destacando esta última por tener una distribución circunglobal en regiones tropicales y templadas (Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Kailola, 2004; Marceniuk & Betancur-R., 2008).

Familia Ariidae

La familia Ariidae se distribuye en regiones tropicales y templadas, aunque la mayoría de las especies se encuentran en áreas costeras o sistemas estuarinos, algunas son exclusivamente dulceacuícolas (Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Kailola, 2004; Marceniuk & Betancur-R., 2008). En la actualidad se reconocen 21 géneros y más de 150 especies distribuidas en las costas del continente americano: en el Atlántico, incluye desde las costas del mar Caribe y Golfo de México; mientras en el Pacífico, su distribución va desde el sur de California (E.U.A.) hasta el sur de Perú (Betancur-R., 2008; Miller, 2009). Para la región de México, Estados Unidos y Centroamérica se tienen registradas 43 especies (Nelson, 2009).

Taxonómicamente, la familia Ariidae (Fig. 6) se distingue de las otras familias por los siguientes caracteres anatómicos: narina anterior y posterior muy cerca una de la otra, membranas branquiales fusionadas entre sí y adheridas al istmo, cabeza cubierta por un escudo óseo y seis barbillones: un par maxilar y dos pares mentonianos (Miller, 2009).

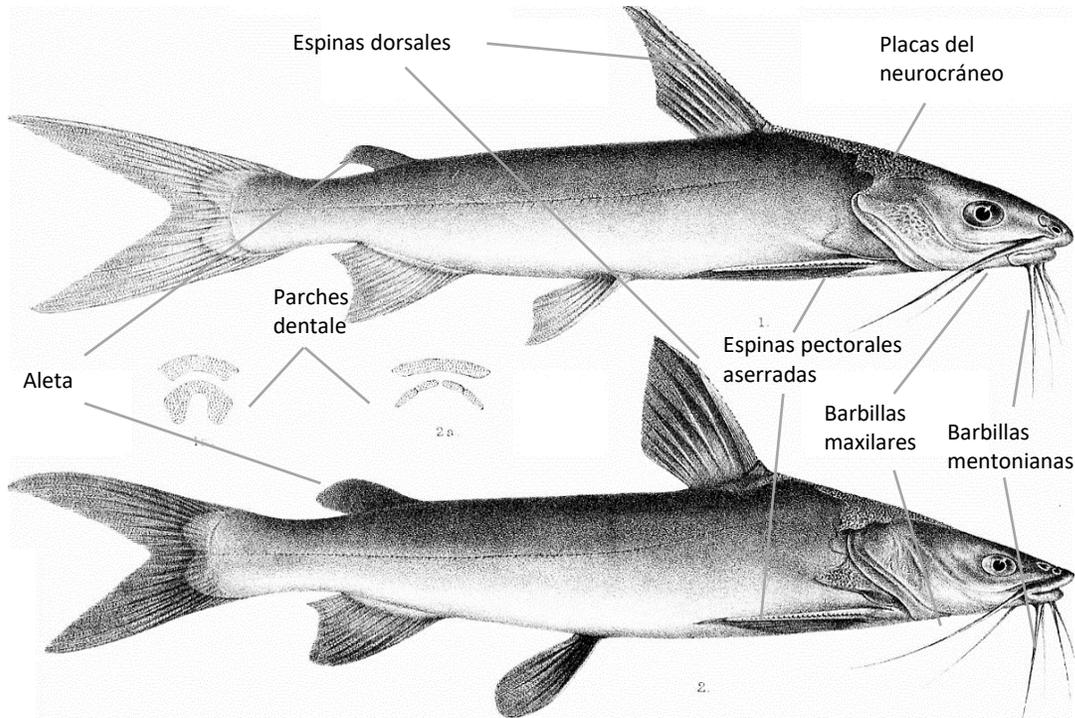


Figura 6. Características representativas de la familia Ariidae (Tomado de Anzueto-Calvo, 2010).

La importancia ecológica de esta familia, en los ambientes en los que se encuentra, se debe a su característica de omnivoría potencial que influyen en las tramas tróficas; se alimenta principalmente de crustáceos decápodos, peces de menor tamaño y detritus (Kobelkowsky & Castillo-Rivera, 1995).

En el Golfo de México y el estado de Veracruz se tiene el registro de especies como *Ariopsis felis*, *Bagre marinus* y *Cathorops aguadulce* (Castro-Aguirre *et al.*, 1999).

Cathorops aguadulce

Se caracteriza por tener una aleta dorsal con 6 radios; anal con 19; pectoral con 9-11, poro axilar más pequeño que la abertura nasal; superficie interna y puntas de las aletas pectorales y pélvicas de color intenso, ya sea negro, gris o pardo (Fig. 7). El primer arco branquial cuenta con 14-17 branquiespinas; segundo arco de 14-19, presenta aserraciones en la parte interna de las espinas pectorales, grandes y rectas (Castro-Aguirre *et al.*, 1999). La temporada reproductiva va de febrero a septiembre, la incubación de huevos se da de abril a septiembre; la talla máxima conocida es de 25.4 cm LP (especimen guatemalteco); se alimenta principalmente de materia orgánica, mezclada con moluscos y crustáceos (Miller, 2009).



Figura 7. Imagen de "*Cathorops aguadulce*" (Tomado de Miller, 2009).

Se encuentra en la vertiente del Atlántico, desde el Río Coatzacoalcos hacia el noroeste hasta el Río Panuco, así como en el Golfo de México (Fig. 8) (Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Tenorio-Colín *et al.*, 2010). Principalmente se encuentra en agua dulce pero vive y se reproduce también en agua salda, en ríos, arroyos y lagunas, con sustratos de lodo suave, detritus orgánico, arcilla, arena, conchuela, roca y grava; sus ambientes tienen corrientes que por lo general son leves aunque puede penetrar en corrientes más fuertes; aguas turbias y claras, típicamente dulce pero puede variar una salinidad entre 0 hasta 36 pmm; además, sus hábitats pueden tener una vegetación nula o considerable, incluso con árboles o troncos caídos y una profundidad de hasta 5 m (Miller, 2009).

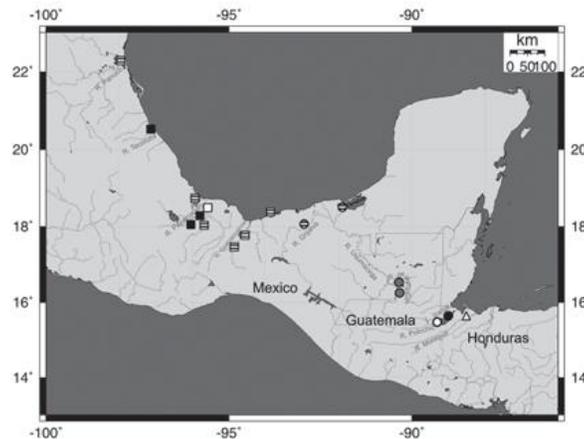


Figura 8. Localidades de registro para *Cathorops agudulce* (círculos grises) en Mesoamérica (Tomado de Marceniuk & Betancur-R, 2008).

Ariopsis felis

Esta especie presenta de 13-16 branquiespinas en el primer arco branquial; de 13-17 en el segundo; surco carnososo central de la cabeza más o menos largo, extendiéndose hacia adelante a nivel de los ojos. Tiene de 46 a 48 vertebras libres del complejo de Weber (Castro-Aguirre *et al.*, 1999); longitud del proceso occipital, unas tres veces en la longitud cefálica; superficie superior de la aleta pélvica de un color claro. Alcanzan su madurez entre los 120 a 200 mm LP (200 mm LT en la Laguna de Términos, Camp., en 50% de las hembras) (Fig. 9). El número promedio de huevos llevados por el macho varía de 10-30, mediante incubación bucal. Se alimentan principalmente de crustáceos, moluscos, anélidos y peces (Miller, 2009).

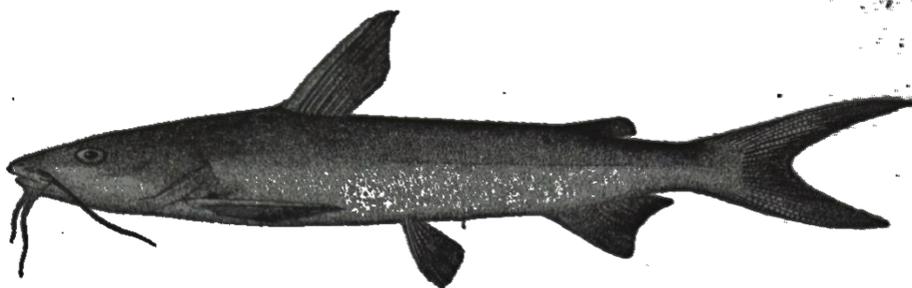


Figura 9. Esquema de "*Ariopsis felis*" (Tomado de Miller, 2009).

Se localiza desde la vertiente del Atlántico, principalmente en agua marina, desde el Cabo Cod, hasta el Río Bravo, EUA-México, de ahí hacia el sur a lo largo de la costa de Yucatán, penetrando en ríos como Coatzacoalcos y Usumacinta (Fig. 10). Los sistemas en los que incursiona son aguas costeras turbias, someras con un alto nivel de salinidad (hasta 37 pmm), los sustratos son lodos o arenas, con corrientes que van de lentas

a fuertes y una vegetación ausente, con manglares a lo largo de los estuarios y profundidades de hasta 3 m, exceptuando los juveniles que incursionan en aguas someras cercanas a la costa (Miller *et al.*, 2009).

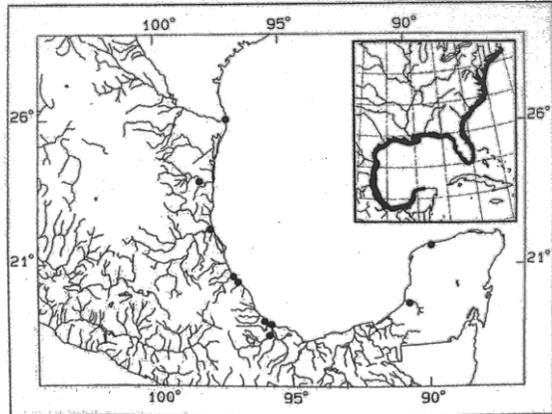


Figura 10. Mapa de distribución en México y general (recuadro) de "*Ariopsis felis*". (Tomado de Miller 2009).

ANTECEDENTES

La sistemática de los bagres pertenecientes a la familia Ariidae es controversial. En la actualidad, no se conoce con exactitud el número de especies y géneros existentes en ella, ni las relaciones que se establecen entre ellos. Además la distribución aun no es exacta para algunas de las especies, a pesar de ello la familia Ariidae ha sido estudiada principalmente con fines taxonómicos y descriptivos.

Aunque los estudios taxonómicos en la actualidad son numerosos, no esclarecen la posición taxonómica de todos los integrantes del orden Siluriformes, específicamente aquellos de la familia Ariidae, debido a la problemática de similitud existente en la morfología externa de los organismos, que no permite una adecuada y segura diagnosis de una especie.

En algunos de los trabajos realizados por Marceniuk & Betancur-R. (2008) y Marceniuk *et al.* (2012), revisan la identidad taxonómica de las especies del Caribe y el Atlántico sudamericano asignadas al género *Cathorops*, describiendo una nueva especie. Indican, además, la coloración, dimorfismo sexual, distribución y hábitat para *C. agassizii*, *C. arenatus*, *C. mapale*, *C. nuchalis*, *C. spixii*, *C. wayuu*, *Ariopsis nigricans* y *A. variolosus*. Además, presentaron una clave para identificar especies de bagres marinos de la familia Ariidae, en costas brasileñas.

De igual manera, Marceniuk *et al.* (2010), usando métodos de separación electroforéticos de proteínas de musculo, analizan los niveles de divergencia de los géneros *Cathorops*, *Ariopsis* y *Bagre* para tratar de esclarecer la presencia de estos géneros en costas del Golfo de México.

Marceniuk *et al.* (2017) realizó otra revisión taxonómica del género *Ariopsis* y describe dos nuevas especies, usando además de los análisis morfológicos, análisis moleculares del ADN mitocondrial (mtDNA), e indica que la monofilia de dicho género está basada en sinapomorfías con una ambigua optimización derivada de condiciones independientes de los áridos.

Kobelkowsky & Castillo-Rivera (1995) es uno de los pocos autores que basándose en la biología general y anatomía general de la familia Ariidae, describe desde el sistema digestivo y alimentación de los bagres de la familia Ariidae del Golfo de México y sugiere una relación en la dieta de las especies y su anatomía alimentaria, además se comentan los principales cambios del tracto digestivo con relación al período reproductivo.

Por otra parte, son pocos los trabajos haciendo referente a la anatomía y morfología del encéfalo, así como del sistema nerviosos y neurocráneo de Siluriformes. Entre los cuales destacan los realizados por Londoño y Giraldo (2010), en el que identificaron y describieron estructuras como los bulbos olfativos, hemisferios telencefálicos, lóbulos ópticos, cerebelo y el nervio óptico de los nervios craneales. Concluyendo que, de acuerdo con la morfología y morfometría vista en el encéfalo, *A. semanni* emplea los sentidos de la vista y el gusto al momento de explorar el ambiente.

Abrahamo & Muller (2015) proponen una técnica de disección del neurocráneo de Siluriformes para el estudio del encéfalo, de manera esquemática y digital, como aporte a los estudios del sistema nervioso de otras especies y además realizan una descripción general del encéfalo. Angulo & Langeani (2017) describen la morfología del encéfalo del pez gato, *Rineloricaria heteroptera*, indicando la posición, forma y tamaño de todas las estructuras componentes del encéfalo como lóbulos ópticos, cerebelo y lóbulos inferiores.

Por otra parte, con el fin de seguir esclareciendo la posición filogenética de la familia Ariidae se han realizado estudios paleontológicos usando la descripción del neurocráneo de una nueva especie de bagre marino fósil del mioceno, por Bogan & Agnolin (2011), que proponen que la familia Ariidae conforma el linaje más basal del clado de los arioideos.

OBJETIVOS

General

Describir la anatomía del encéfalo de *Cathorops aguadulce* y *Ariopsis felis*.

Particulares

Describir y comparar la estructura de tallas de población para ambas especies.

Describir la morfología del encéfalo y comparar el encéfalo de *Cathorops aguadulce* y *Ariopsis felis*

Comparar el encéfalo de *Cathorops aguadulce* y *Ariopsis felis* utilizando medidas morfométricas.

Analizar sus características ecológicas analizando la relación longitud-peso de las especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Campo

Todos los ejemplares de este estudio se recolectaron en el municipio de Alvarado, Veracruz, México (Fig. 11). La mayoría de los ejemplares de la especie *Ariopsis felis* se obtuvieron en la comunidad de Las Barrancas, mediante el uso de un chinchorro playero con apertura de malla de 2.5 cm (Fig. 12 A). Mientras que la especie *Cathorops aguadulce* se obtuvo en la Laguna Alvarado (18°34' y 19°06'N; 95°31'y96°07'W) aún costado de las pescaderías, haciendo uso de jaiberas cebadas (Fig. 12 B).

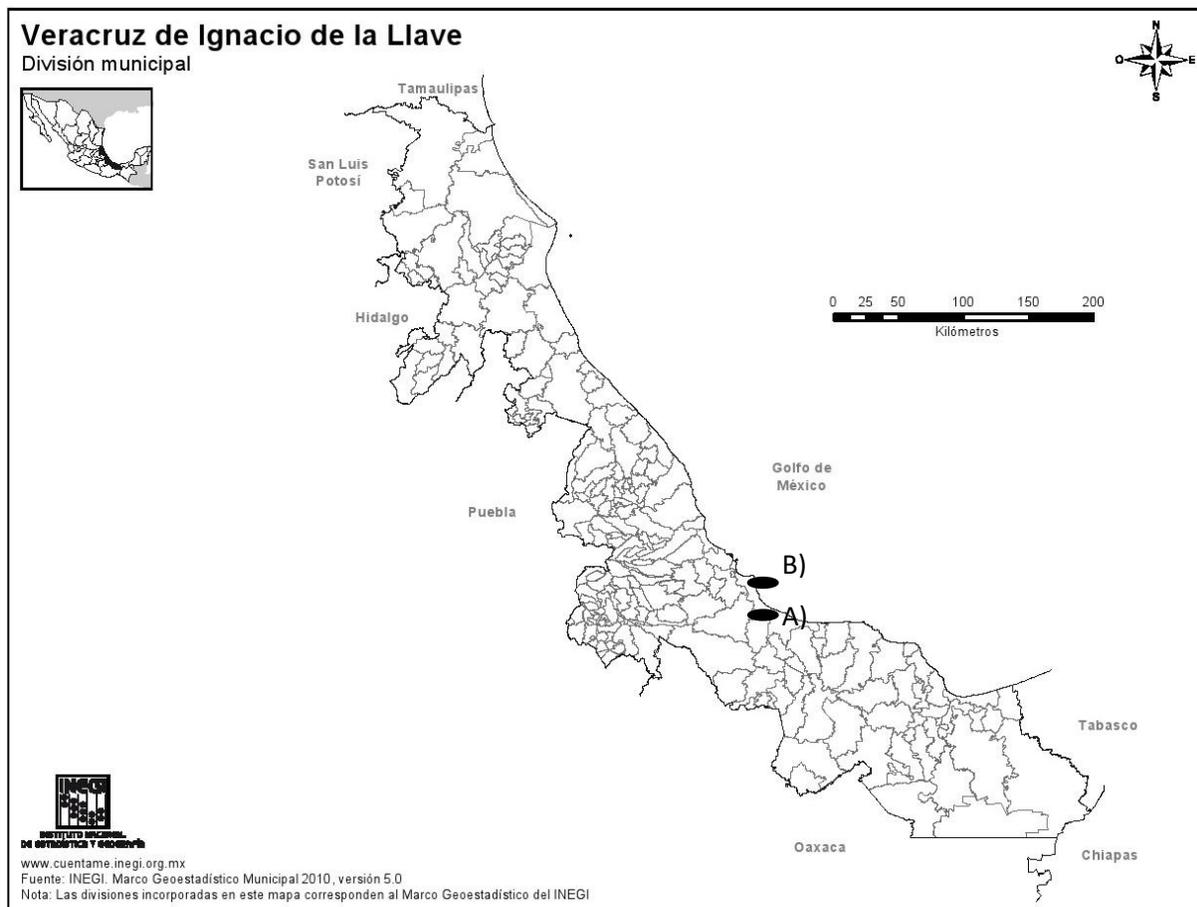


Figura 11. Mapa del Municipio de Ignacio de la Llave, Alvarado, México que muestra los sitios de recolecta. **A)** Laguna de Alvarado y **B)** Playa Barrancas (Tomado de INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2010).

Los organismos se fijaron con formol al 10% para su posterior traslado al Laboratorio de Zoología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.



Figura 12. Sitios de recolecta en el municipio de Alvarado, Veracruz. **A)** Laguna de Alvarado y **B)** Playa Barrancas.

Laboratorio

Se realizó un lavado de los organismos con agua corriente y se almacenaron en botes con alcohol etílico al 70%. Las especies de este estudio se identificaron mediante claves taxonómicas especializadas y las diagnósis de referencia (Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Carpenter, 1976; Marceniuk, 2005; Miller, 2009). El peso se tomó por medio de una balanza electrónica (SE-2000) de precisión $\pm 0.01\text{g}$; se midió la longitud patrón (LP) y total (LT) así como el ancho máximo (Anmax), altura máxima (Amax), alto (Acef) y largo (Lcef) de la cabeza utilizando un calibrador electrónico de fibra de carbón (0.01mm) (Fig. 13).

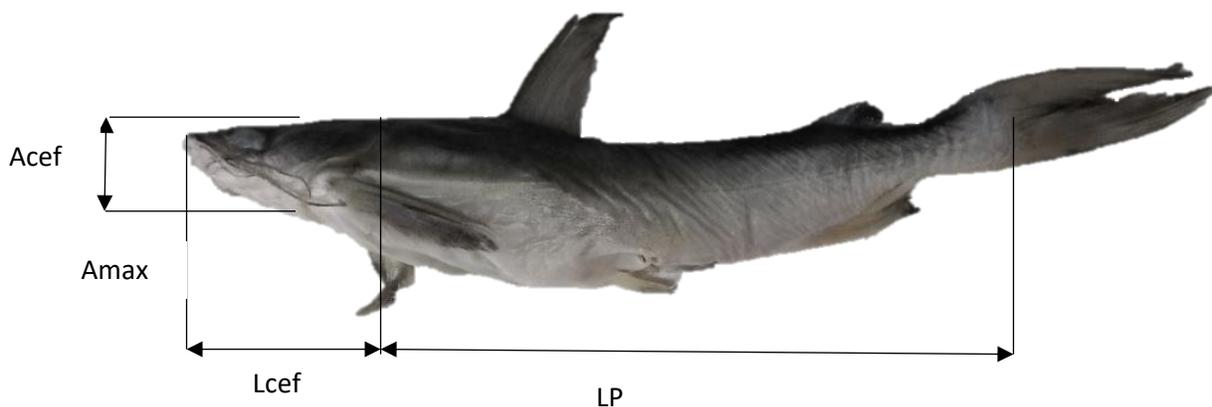


Figura 13. Medidas tomadas en los organismos. Acef: altura cefálica; Lcef: longitud cefálica; Amax: altura máxima y LP: longitud patrón.

Se identificaron hembras y machos retirando las gónadas de cada organismo.

La disección del neurocráneo (Fig. 14), se llevó a cabo para la obtención del encéfalo y siguió la técnica propuesta por Abrahao & Muller (2015). Para ello se retiró la piel de la región cefálica usando una navaja, rompiendo el cráneo por medio de la fontanela y las suturas visibles de las placas cefálicas hasta dejar expuestas las meninges y retirar el cerebro, tractos olfatorios y nervios, así como parte de la médula oblonga.



Figura 14. Exposición del cerebro en los organismos, posterior a la disección.

Descripción morfométrica de los peces (estructura de la población)

Una vez obtenida la información, se elaboró una base de datos donde se registraron las mediciones obtenidas, los promedios, desviaciones estándar y porcentajes para cada una de las especies y así se determinó la estructura de la población.

Descripción morfológica del encéfalo

Al retirarse el encéfalo se tomaron fotos digitales laterales, dorsales y ventrales del encéfalo para cada una de las especies (Fig. 15). Se realizó la identificación de las diferentes estructuras indicando su ubicación y morfología de acuerdo con las descripciones de Arratia (2003).

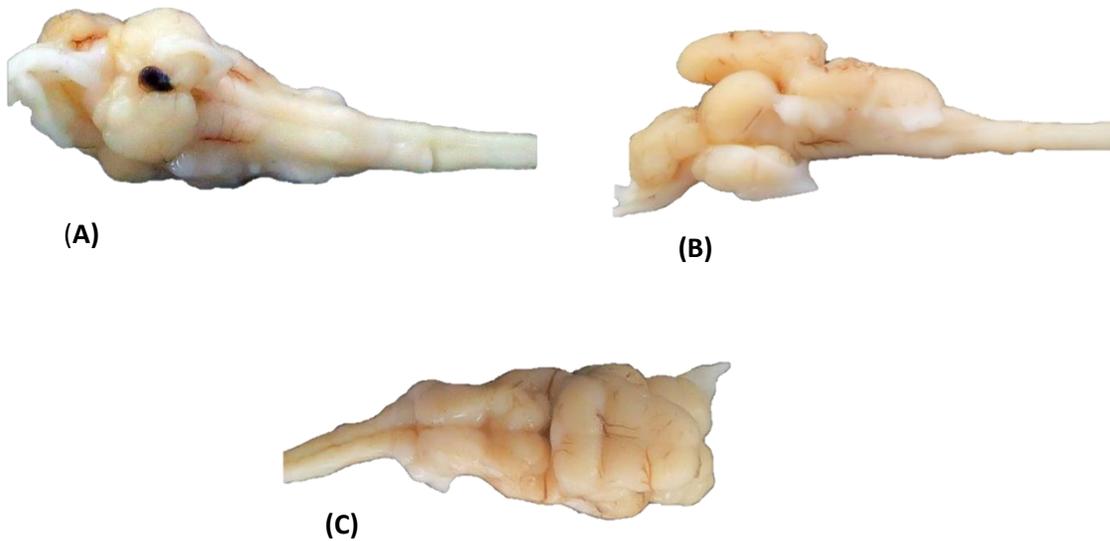


Figura 15. Encéfalo Vista ventral (A), lateral (B) y dorsal (C), del encéfalo.

Descripción morfométrica del encéfalo

El peso de cada encéfalo se cuantificó por medio de una balanza semianalítica (NOVAL) ($\pm 0.01g$). Se tomaron medidas de longitud (L), ancho (An) y alto (Al) total del encéfalo, además de la longitud total de los lóbulos: vagos, inferiores, acústicolaterales, ópticos, faciales y del cerebelo. Las medidas de longitud se realizaron sobre los encéfalos en la posición que permitiera visualizar el área con mayor exactitud de la longitud en cada estructura.

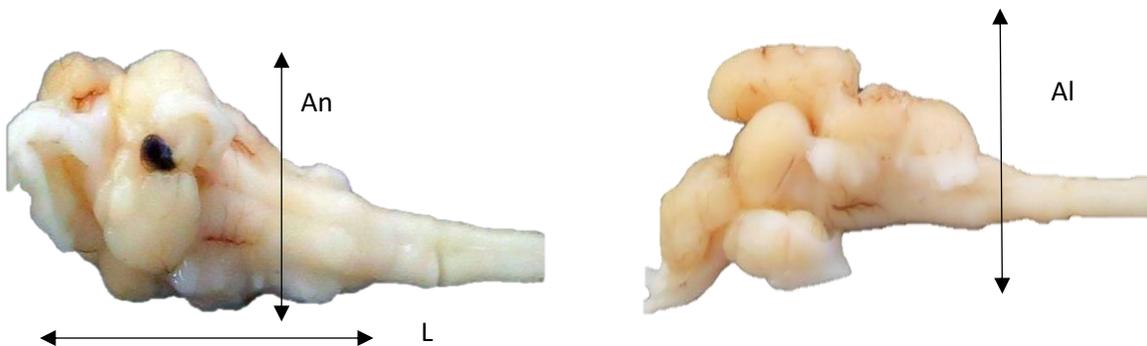


Figura 16. Medidas tomadas para cada uno de los encéfalos: ancho (An), largo (L) y Alto (Al). representación de la medida en longitud para los lóbulos.

Una vez obtenidos los datos de longitud del encéfalo, se calculó la equivalencia porcentual de la longitud de cada estructura evaluada en relación con la longitud total del encéfalo (L). Posteriormente se calcularon promedios y desviaciones estándar, se elaboró una base de datos donde se registraron las mediciones obtenidas (.xls), para cada uno de los encéfalos, de ambas especies.

Análisis de datos

Con la información registrada de cada organismo se calculó la cantidad de hembras y machos por especie. Se evaluaron las relaciones peso-longitud patrón por sexo usando el programa Stata11.0, a lo que se le aplicó una prueba de *t* de Student, calculando posteriormente el valor de *P* tomando como base $\alpha=0.05$.

Para determinar la distribución de tallas para cada sexo, por especie se hizo mediante estimadores de densidad por kernel (EDKs). Las densidades poblacionales se realizaron para determinar las correlaciones entre los parámetros estructurales medidos para los organismos (LP, Amax, Anmax, Lcef, Acef y P) (Ricker, 1975).

Para los encéfalos se procedió a realizar un análisis de componentes principales para comprobar si las variables consideradas pudieran definir componentes necesarios que muestren diferencias significativas. Los componentes con una mayor varianza acumulada se sometieron a un análisis discriminante y se tomaron aquellos que tuvieron una mayor separación (Guerra-Dávila *et al.*, 2005; Saporta, 2011).

Para saber cuáles son las variables que tiene una alta correlación entre sí, se realizó el análisis de correlación de (Pearson) de las variables (Lcef: longitud cefálica, Pcef: altura cefálica, An: ancho máximo, L: longitud patrón, h: altura máxima, Het: hemisferios telencefálicos, LOp: lóbulos ópticos, CRB: cerebelos, LVa: lóbulos vagos, LFa: lóbulos faciales y LIn: lóbulos inferiores) tomadas de dos en dos, esto con la finalidad de saber cuáles variables tomar en cuenta para el análisis de componentes principales (Bernard, 1981).

Se calculó la distancia de Mahalanobis con los resultados del análisis discriminante (Escobedo, 2008).

Resultados

Descripción morfométrica de los peces (estructura de la población)

Se midieron y pesaron un total de 55 organismos, de los cuales 39 (71 %) pertenecen a la especie *C. aguadulce* y 16 (29 %) pertenecen a *A. felis* (Fig. 17).

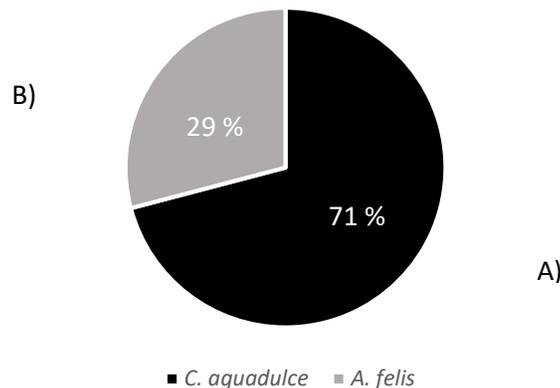


Figura 17. Cantidad de organismos de **A) *Cathorops aguadulce*** y **B) *Ariopsis felis***.

Se registró un total de 29 hembras y 26 machos entre las dos especies. En *C. aguadulce* se tuvieron 16 machos (41%) y 23 hembras (59%), con un intervalo de tallas de 107.6-223 mm (\bar{x} 156 mm). Mientras que para *A. felis* se tuvieron 10 machos (37.5%) y 6 hembras (62.5%), con un intervalo de tallas de 103.3-263 mm (\bar{x} 175.4 mm).

Con base en estos resultados se determinó que en la muestra hubo mayor presencia de machos en *A. felis* mientras que en *C. aguadulce* predominan las hembras (Figs. 18, 19; Tabla 1).

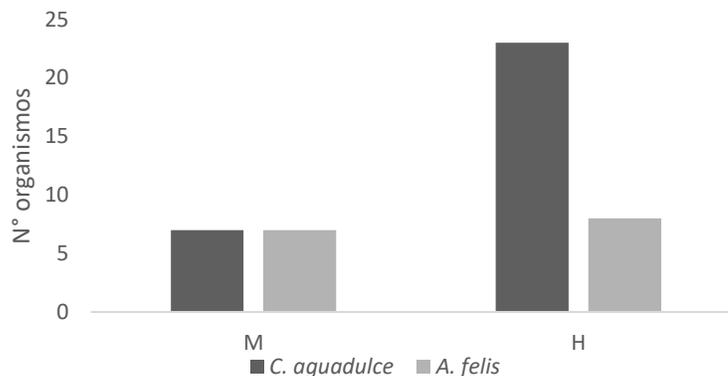


Figura 18. Cantidad de machos y hembras para *Cathorops aguadulce* y *Ariopsis felis*.

Además, se consideraron las medidas de desviación estándar promedio de la longitud patrón (LP), altura máxima (Amax), ancho máximo (Anmax), altura cefálica (Acef), longitud cefálica (Lcef) y el peso de los peces, teniendo como resultado que los valores más altos se encuentran en la altura máxima de ambas especies con 157.9 ± 28.4 y 175.4 ± 55.9 respectivamente, mientras que en el peso esta representados mayores valores para la especie *A. felis* (tabla 1).

Tabla 1. Datos obtenidos de longitud patrón (LP), altura máxima (Amax), ancho máximo (Anmax), altura cefálica (Acef), longitud cefálica (Lcef) y el peso de los peces, expresados en mm. Intervalo (mínimo y máximo) y \bar{x} (promedio).

Medida	<i>Cathorops aquadulce</i> (n=39)		<i>Ariopsis felis</i> (n=16)	
	Intervalo	$\bar{x} \pm SD$	Intervalo	$\bar{x} \pm SD$
LP	107.6-223	157.9 ± 28.4	103.3-263	91.7 ± 55.9
Amax	21.1-48.3	30.6 ± 6.0	14.1-40.6	25.1 ± 7.2
Anmax	15.8-233	32.3 ± 38.1	10.4-34.8	23.3 ± 7.3
Acef	16-249	30.3 ± 41.4	8.5-33	20.3 ± 7.2
Lcef	27.4-56.4	39.3 ± 6.4	20.1-57.5	37.6 ± 11.5
Peso	25.2-138.3	61 ± 29.1	23.59-237.9	91.7 ± 82

Para la especie *C. aquadulce* la relación de peso- longitud se realizó para cada uno de los sexos. No se encontraron diferencias de relevancia (regresión lineal de datos logarítmicos) entre ambos sexos. Los ajustes para valores de logaritmo natural de las variables en comparación con los parámetros de la regresión no lineal se presentan tanto para *C. aquadulce* (Fig. 19), como para *A. felis* (Fig. 20).

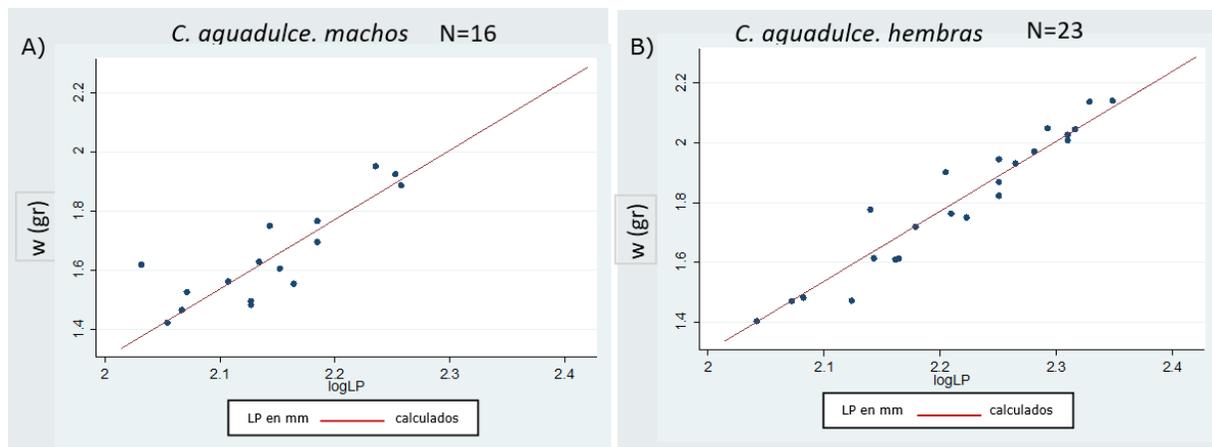


Figura 19. Relación peso(W)-longitud (Lp) de hembras y machos para *Cathorops aguadulce*.

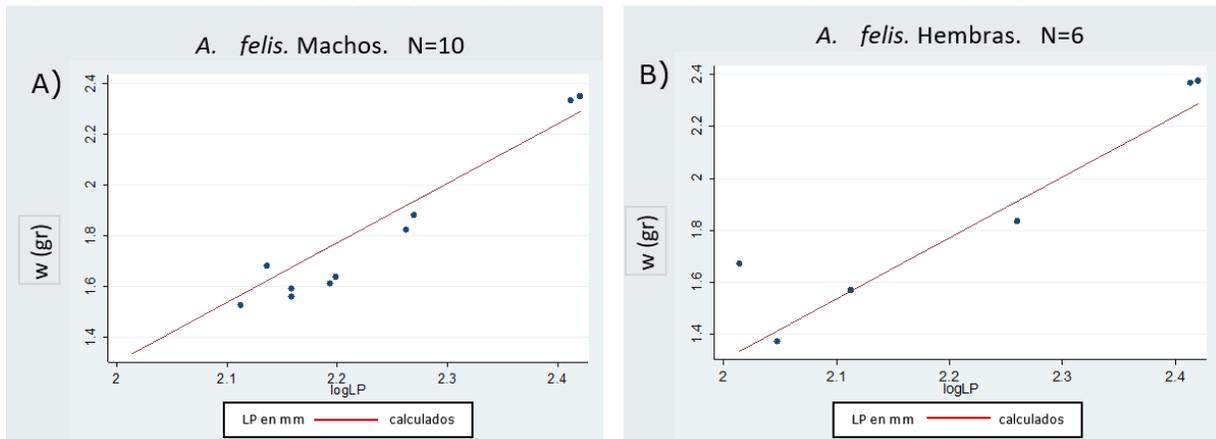


Figura 20. Relación peso(W)-longitud (Lp) de hembras y machos para *Ariopsis felis*.

Además, al hacer la comparación de varianzas estas son similares para las variables de longitud patrón y peso para ambas especies. Al realizar la prueba de *t* de Student para comparar las pendientes se tiene un intervalo de confianza del 95 %, producto de la relación peso-longitud patrón entre sexos, se encontró que el valor de *P* fue mayor de 0.05, lo que indica que no hay diferencia estadística significativa en las pendientes de las relaciones peso-longitud patrón para hembras y macho de ambas especies (Tabla 2). Al comparar las distribuciones con una prueba de Kolmogorov-Smirnov, se comprobó que no hay diferencias estadísticas para la relación de la longitud y el peso entre sexos.

Tabla 2. Valores de *t* de Student para comparar las pendientes, resultado de la relación peso-longitud patrón.

Especie	<i>t</i> calculada	<i>P</i>
<i>C. aguadulce</i>	0.01	0.20
<i>A. felis</i>	0.97	0.27

Se analizó la distribución de tallas entre los sexos por histogramas suavizados (estimadores de densidad por Kernel). La distribución de tallas para hembras y machos en general fue multimodal en ambas especies. Para las hembras de *C. aguadulce* se muestra un total de tres modas: a los 114.9, 135.6 y 179.3 mm de longitud patrón. En los machos se muestran también tres modas, pero en los 141.2, 178.9 y 200.8 mm de longitud patrón, lo que nos indica que la densidad de captura para la especie es mayor en los machos; se observó que el valor mínimo de captura para machos fue de 91.93 mm, mientras en las hembras presentaron un valor de 9.08 mm. Los valores máximos obtenidos fueron 311.16 mm para machos y 290.3 mm para las hembras (Fig. 21).

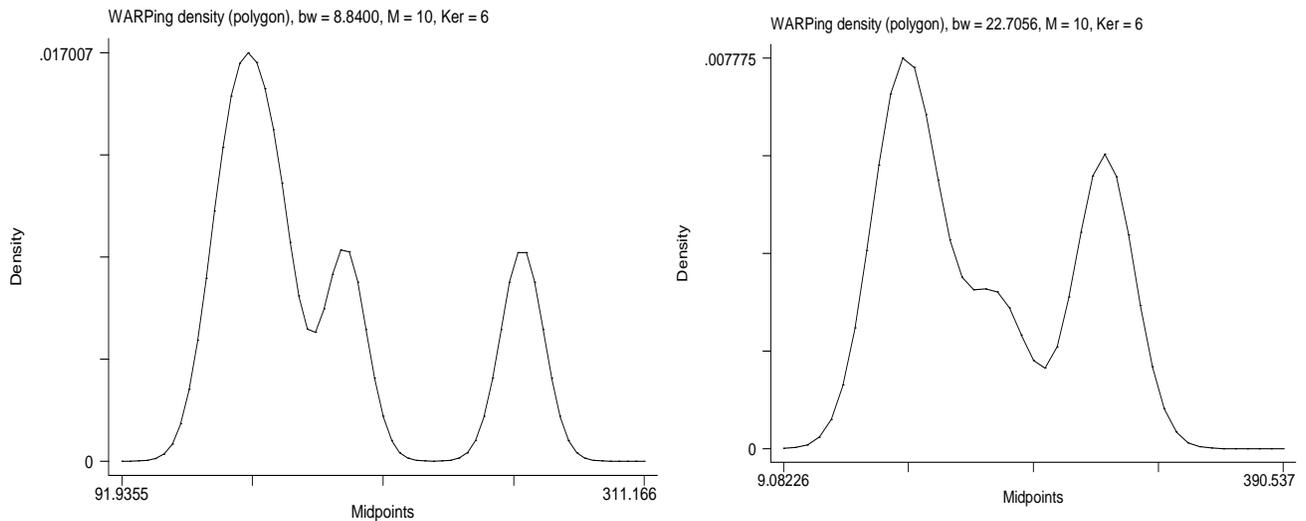


Figura 21. Relación peso(W)-longitud (Lp) de hembras y machos para *Ariopsis felis*.

En la especie *A. felis* se muestran de igual manera tres modas para ambos sexos. En el caso de las hembras se tienen en los 144.9, 183.8 y 261.6 mm de longitud patrón, mientras que en los machos se muestran en los 99.9, 163.4 y 254.3 mm de longitud patrón, indicando que las tallas menores se registraron en los machos para esta especie (Fig. 22).

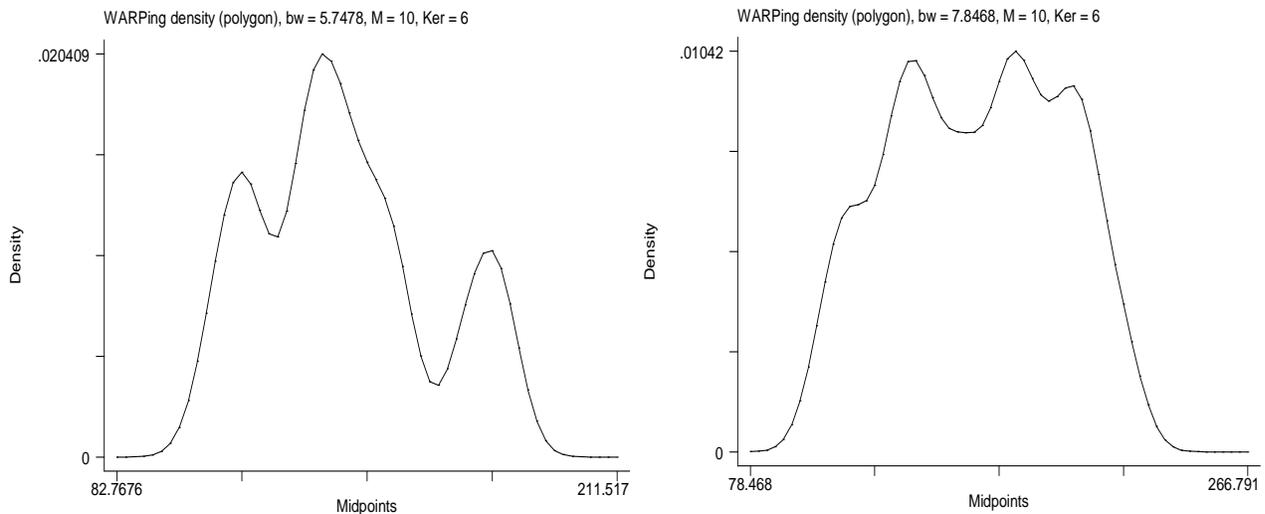


Figura 22. Relación peso(W)-longitud (Lp) de hembras y machos para *Cathorops aguadulce*.

Para medir las densidades en parámetros poblacionales totales se utilizaron gráficas por densidad de puntos, las cuales indicaron una mayor correlación lineal (positiva), para la especie *C. aguadulce* en el peso con la longitud patrón, altura cefálica y longitud cefálica y la longitud patrón con el ancho máximo, altura cefálica y longitud cefálica. Mientras que para *A. felis* existe una correlación no lineal en la mayoría de las variables,

exceptuando el ancho máximo con altura y longitud cefálica, así como con ancho máximo, y la altura cefálica con longitud cefálica (Fig. 23).

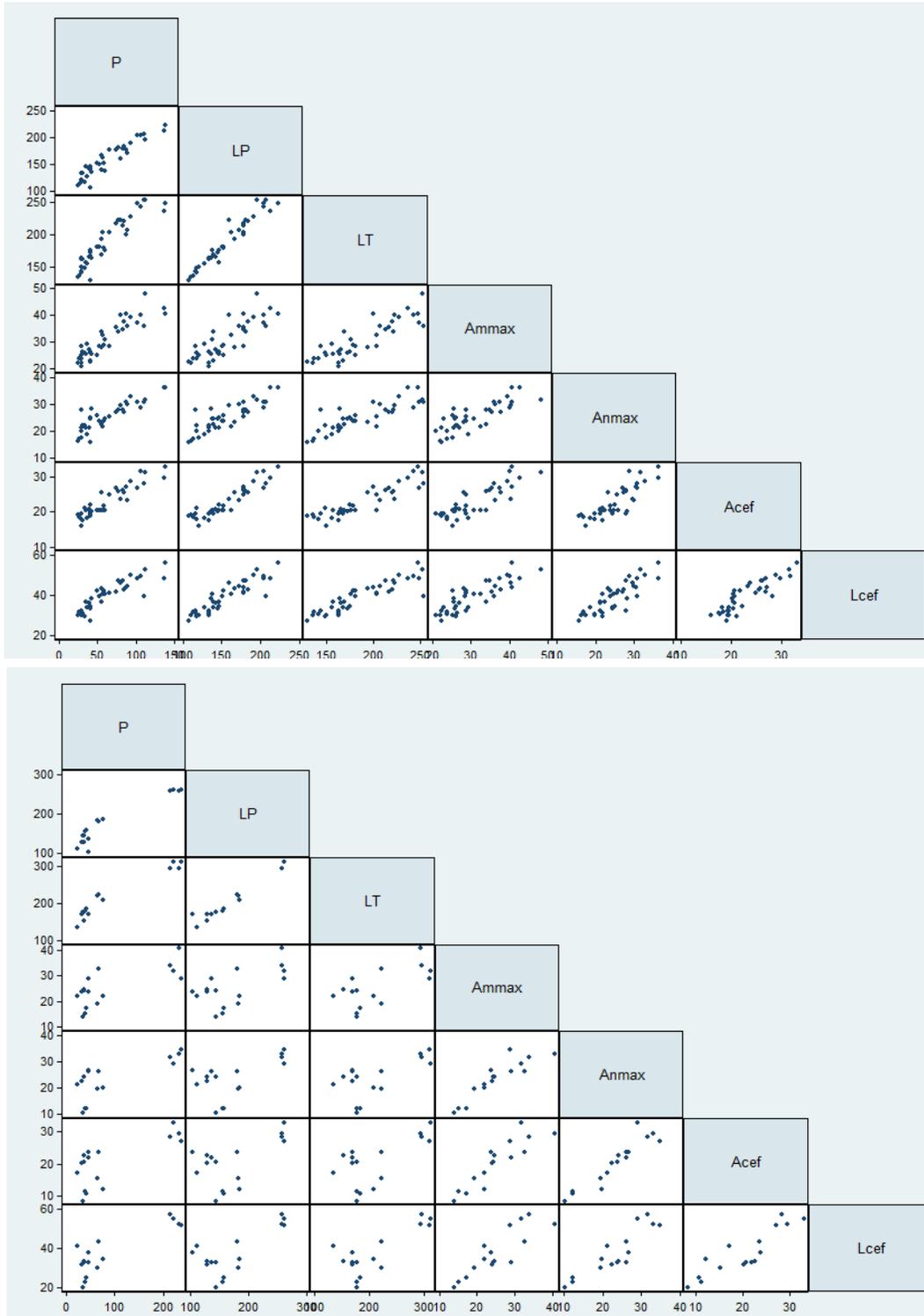


Figura 23. densidades en parámetros poblacionales para *Cathorops agaudulce* y *Ariopsis felis*.

Descripción morfológica y morfométrica del encéfalo

Se midieron y analizaron para *C. aguadulce* un total de 30 encéfalos, de los cuales 23 encéfalos son de hembras, mientras que 7 son de machos. Para *A. felis* se usaron 15 encéfalos, de los cuales 8 son de hembras y 7 son de machos (Fig. 24).

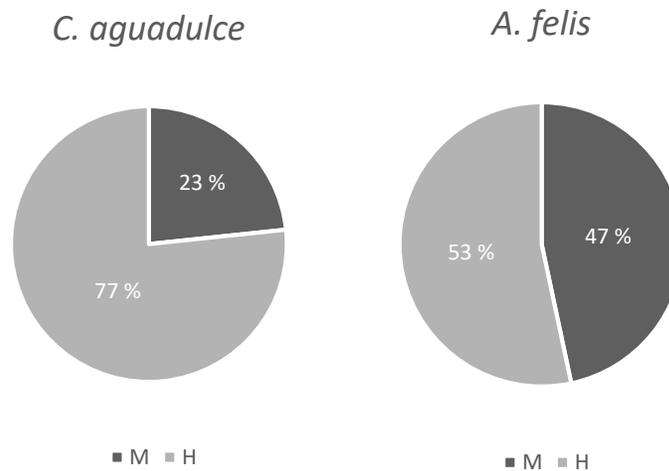


Figura 24. Cantidad de encéfalos usados representada en porcentaje de hembras y machos para A) *Cathorops aguadulce* y B) *Ariopsis felis*.

En la identificación del encéfalo y sus diferentes estructuras se indicó la ubicación y morfología, en posición lateral, dorsal y ventral, para ambas especies: *Cathorops aguadulce* (Fig. 25) y *Ariopsis felis* (Fig. 26).

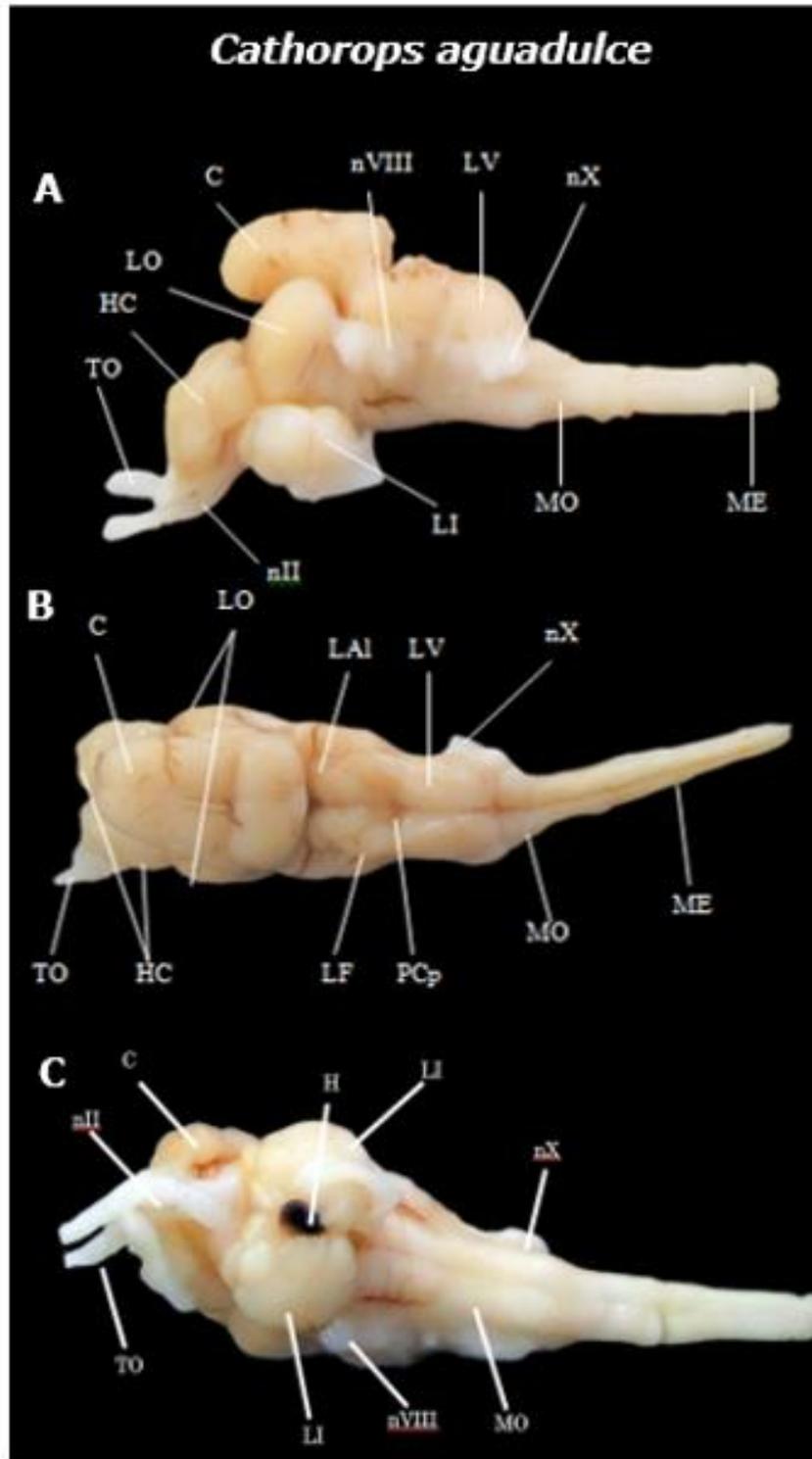


Figura 25. Ubicación de las estructuras del encéfalo, en vista lateral (A), dorsal (B) y ventral (C) para *Cathorops aguadulce*. Acotaciones: C: cerebelo; LO: lóbulos ópticos; LAI: lóbulo acústico laterales; LV: lóbulo vago; nX: nervio vago; TO: tracto óptico; TOL: tracto olfatorio; HC: hemisferios cerebrales; LF: lóbulo facial; PCp: plexo corioide posterior; MO: médula oblongada; nII: nervio óptico; LI: lóbulos inferiores; nVIII: nervio facial.

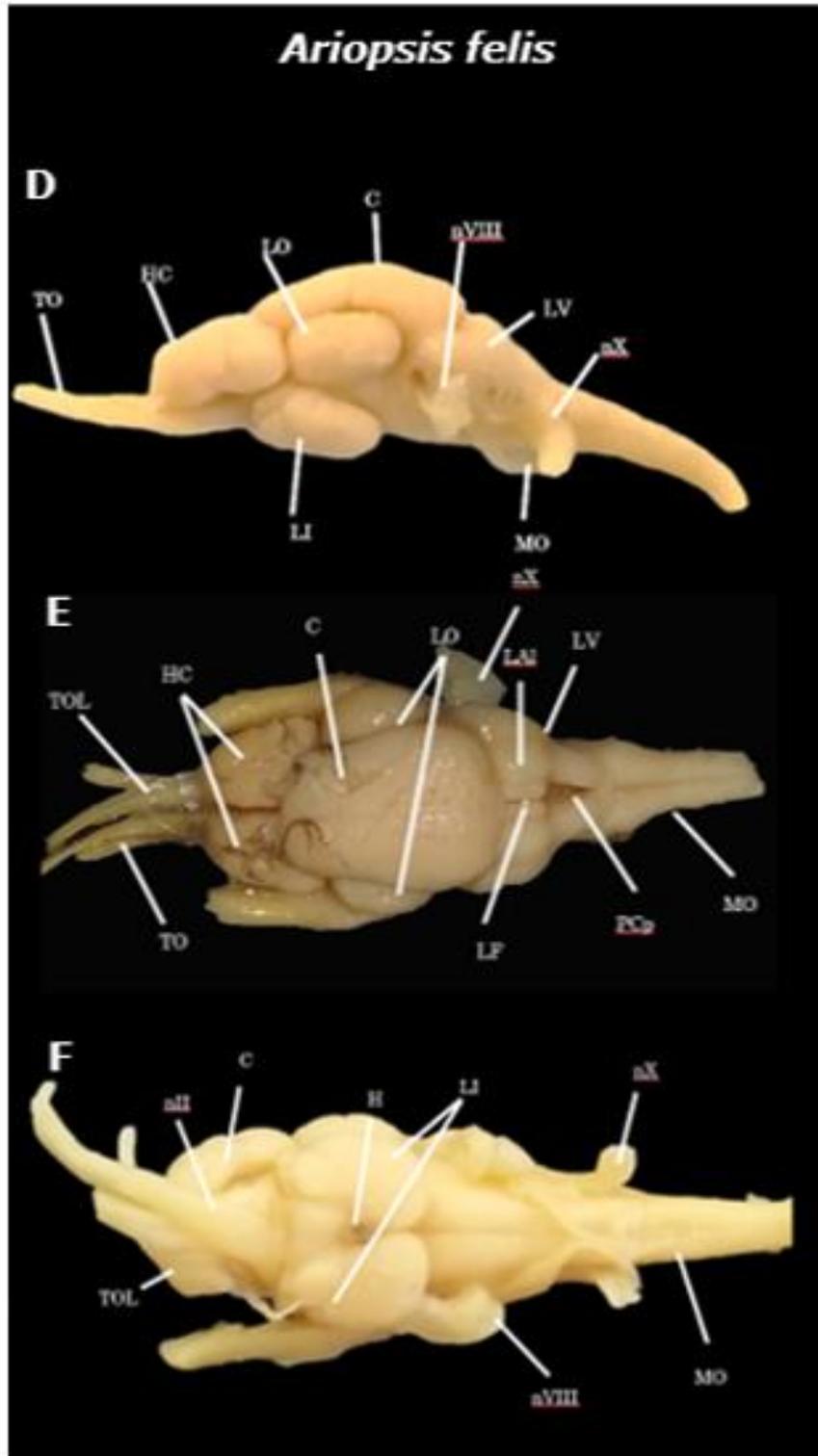


Figura 26. Ubicación de las estructuras del encéfalo, en vista lateral (D), dorsal (E) y ventral (F) para *Ariopsis felis*. Acotaciones: C: cerebelo; LO: lóbulos ópticos; LAl: lóbulo acústico laterales; LV: lóbulo vago; nX: nervio vago; TOL: tracto olfatorio; TO: tracto óptico; HC: hemisferios cerebrales; LF: lóbulo facial; PCp: plexo coroideo posterior; MO: médula oblongada; nII: nervio óptico; LI: lóbulos inferiores; nVIII: nervio facial.

Para la determinación del área ocupada por los lóbulos estudiados, se tiene que se presentaron los mismo en ambas especies, además su ubicación es igual, la única diferencia radica en la forma del cerebelo (Fig. 27).

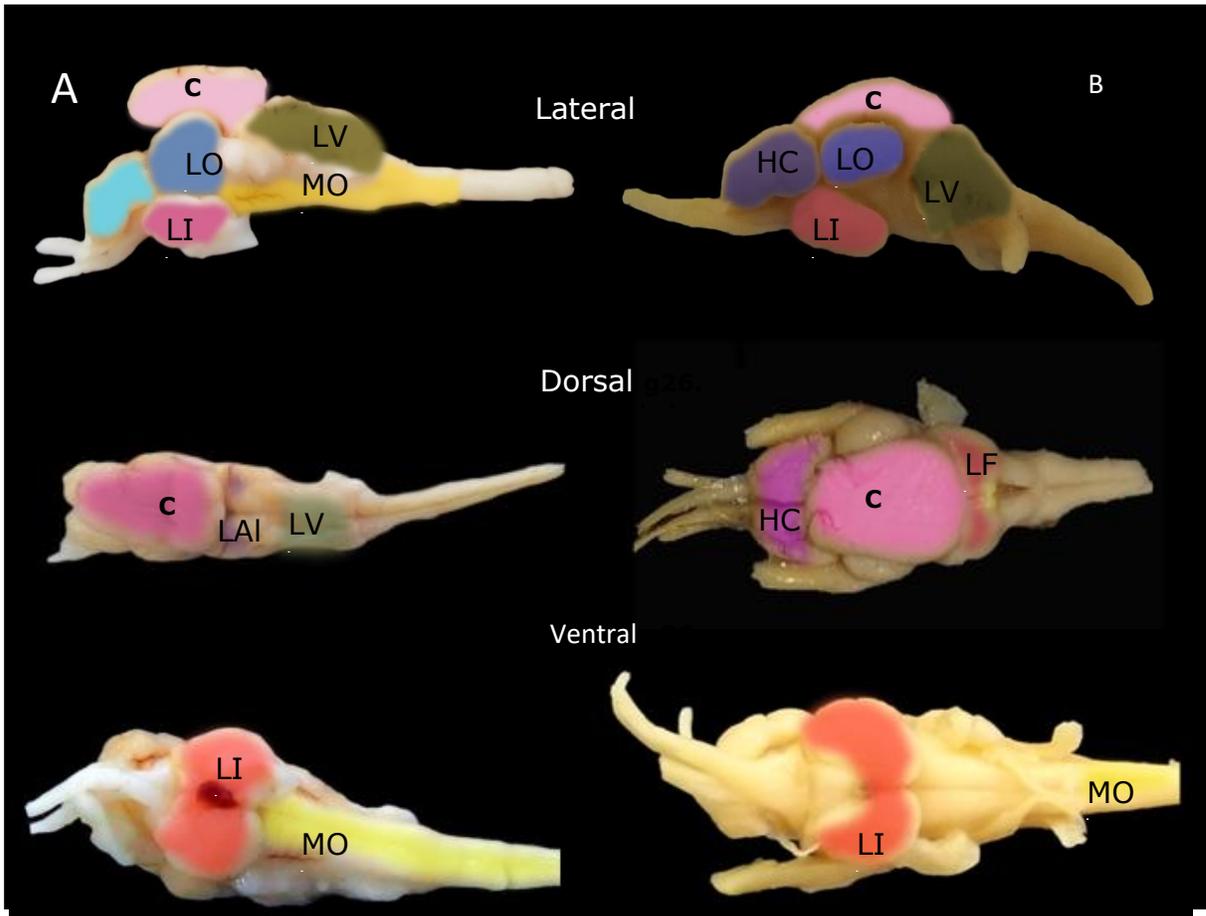


Figura 27. Ubicación de las estructuras del encéfalo, en vista lateral, dorsal y ventral para *C. agudulce* (A) y *Ariopsis felis* (B). Acotaciones: C: cerebelo; LO: lóbulos ópticos; LAI: lóbulos acústicos laterales; LV: lóbulos vago; HC: hemisferios cerebrales; LF: lóbulos faciales; LI: lóbulos inferiores.

Tractos olfatorios (TOL)

Estructuras visibles en ambas especies con las mismas características. Estructuras cilíndricas, alargadas y delgadas. Conectan de manera rostral con los hemisferios telencefálicos en sentido anteroposterior.

Hemisferios cerebrales (HC)

Estructura que para ambas especies se presenta como lóbulos pareados con forma ligeramente oval, más alargados que los lóbulos ópticos.

Lóbulos ópticos (LO)

Son lóbulos pareados separados uno del otro, de forma circular y caudales a los hemisferios telencefálicos, situados debajo del encéfalo en ambas especies.

Cerebelo (C)

En ambas especies está conformado por un solo lóbulo ubicado dorsal a los lóbulos ópticos, con forma oval aguzada en la zona apical para *C. agudulce*. Mientras que para *A. felis* se presenta el extremo rostral ligeramente redondeado.

Lóbulos vagos (LV)

Lóbulos pareados de forma acorazonada, situados detrás del cerebelo, visibles en la parte dorsal del encéfalo para ambas especies.

Lóbulos faciales (LF)

Lóbulos pareados ubicados debajo de los lóbulos acústico laterales, son notablemente de tamaño menor y están separados, la separación es más notable en la especie *A. felis*.

Lóbulos inferiores (LI)

Lóbulos visibles en la vista ventral del encéfalo para ambas especies, de forma circular, entre esta estructura pareada se puede visualizar la hipófisis con un color café oscuro. En la región rostral se puede observar una separación de los lóbulos.

Medula oblonga (MO)

Zona apical circular de la medula oblonga, visible en la parte inferior del encéfalo y esta se extenderá por todo el cuerpo del pez, entre los espacios intervertebrales de la espina dorsal.

Lóbulos acústico-laterales (LAI)

Lóbulos pareados situados detrás del cerebelo y debajo de los lóbulos faciales, solo es visible la zona apical de los lóbulos en ambas especies.

Nervio vago (nX)

Para ambas especies se compone por un par de nervios alargados y cilíndricos, situados uno en cada lado de la medula oblonga; son visibles desde la zona caudal de los lóbulos ópticos al igual que los nervios faciales y se diferencian por tener un mayor grosor; dentro del pez se extienden hacia la región caudal del encéfalo para recorrer la espina dorsal, por los espacios intervertebrales.

Nervio facial (n VIII)

En ambas especies se visualizan como un par de nervios cilíndricos, situados cada uno en la parte caudal de los lóbulos inferiores, consisten en un filamento delgado que sigue la dirección de los nervios vagos.

Nervio óptico (n II)

Presente en ambas especies como un par de nervios rostrales a los lóbulos ópticos, inferiores al cerebelo en vista ventral.

Terminada la descripción, considerando la desviación estándar con los datos obtenidos de ancho máximo (An), largo máximo (L), alto máximo (A), y longitudes del lóbulo óptico (LO), lóbulos inferiores (LI), lóbulos faciales (LF), cerebelo (C), hemisferios telencefálicos (HC) y peso, del encéfalo, se tuvo como resultado para ambas especies, que los valores son similares, indicando un mínimo de diferencia. Los valores más altos (largo) y menores (lóbulos vagos) para *C. aguadulce* y *A. felis* respectivamente son los siguientes: 15.2 ± 3.7 y 15.5 ± 3.2 ; 1.1 ± 0.5 y 1.2 ± 0.6 . Además, en otras estructuras como en el peso se observó que las diferencias son mínimas con los valores de 0.4 ± 0.1 (*C. aguadulce*) y 0.4 ± 0.2 (*A. felis*), mientras que en el cerebelo con 6.6 ± 0.6 (*C. aguadulce*) y 7.0 ± 1.9 (*A. felis*), si se observan diferencias notables (Tabla 3).

Tabla 3. Datos obtenidos en mm de ancho (An), largo (L), alto (A), y longitudes del lóbulo óptico (LO), lóbulos inferiores (LI), lóbulos faciales (LF), cerebelo (C) y hemisferios telencefálicos (HC) y peso, del encéfalo, expresados en mm. Intervalo (mínimo y máximo) y \bar{x} (promedio).

Estructura	<i>Cathorops aguadulce</i> (n=39)		<i>Ariopsis felis</i> (n=16)	
	Intervalo	$\bar{x} \pm SD$	Intervalo	$\bar{x} \pm SD$
L	1.3-2.7	15.2 ± 3.7	13-21.9	15.5 ± 3.2
An	4.9-9.2	6.3 ± 1.3	4.7-17.8	6.6 ± 3.3
Al	5.5-7.9	6.6 ± 0.6	4-8.5	5.7 ± 1.6
HC	2.1-4.9	3.5 ± 0.6	2.7-5.8	3.9 ± 1.1
LO	2.3-4.7	3.2 ± 0.5	2.5-5.3	3.3 ± 0.9
C	5.4-8.1	6.6 ± 0.6	5.5-10.7	7.0 ± 1.9
LV	0.1-2.1	1.1 ± 0.5	0.6-2.5	1.2 ± 0.6
LF	1.3-3.7	2.7 ± 0.5	1.5-4.4	2.4 ± 0.7
LI	2.8-3.9	3.3 ± 0.3	2.7-5.7	3.6 ± 1.0
Peso	0.2-0.6	0.4 ± 0.1	0.2-0.9	0.4 ± 0.2

Al comparar las variables de ancho máximo (A), largo máximo (B) y alto máximo (C), de los encéfalos se tiene que para *C. aguadulce* (n=30) el largo máximo y el alto máximo son mayores, mientras que para *A. felis* (n=16) el ancho máximo es ligeramente mayor (Fig. 28).

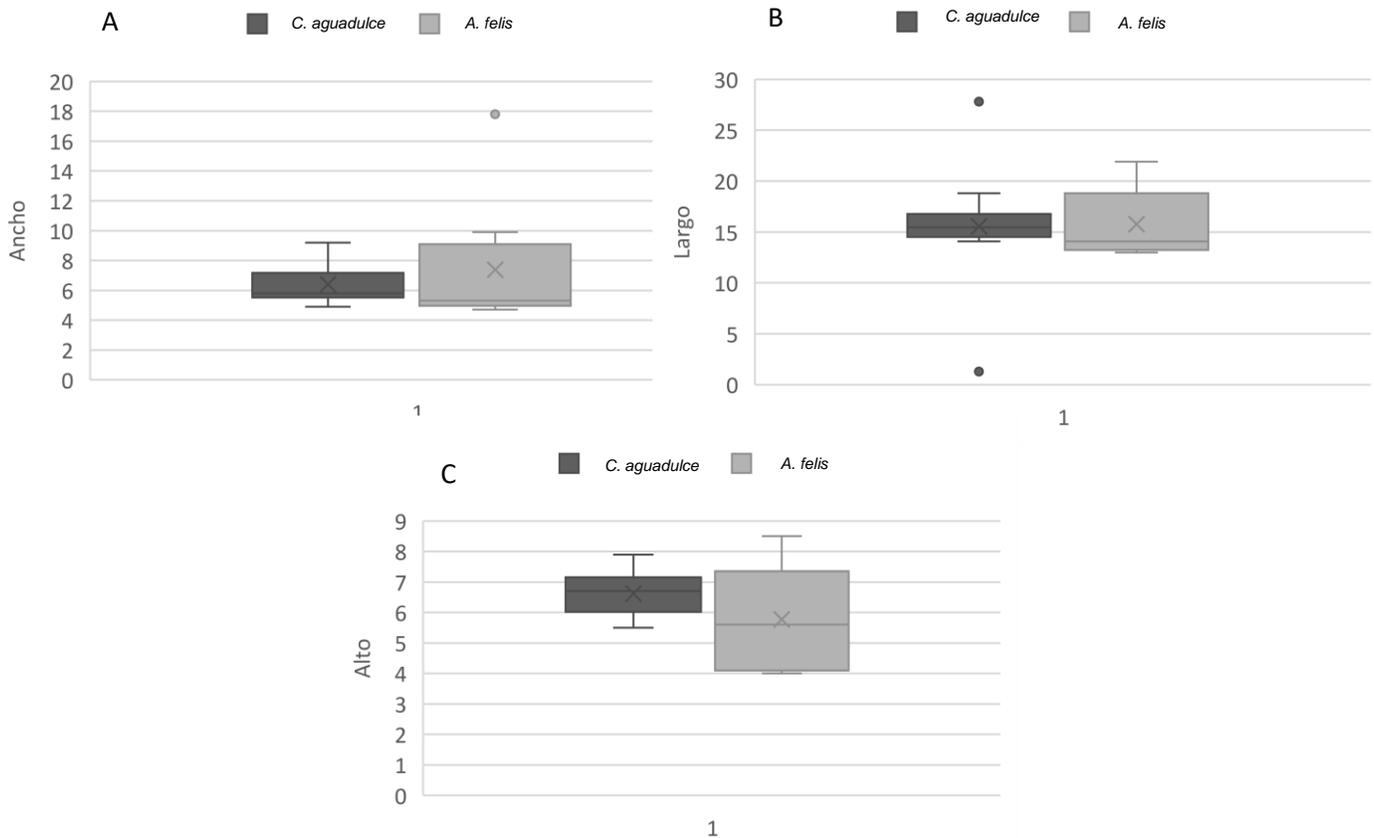


Figura 28. Datos en mm de las variables del encéfalo: ancho máximo (A), largo máximo (B) y alto máximo (C) para *Cathorops aguadulce* y *Ariopsis felis*.

Al calcular las longitudes porcentuales, expresadas en mm, usando la longitud máxima del encéfalo respecto a la longitud patrón del pez (tabla 2) se observó un mayor porcentaje en cuanto a la longitud patrón de *Cathorops aguadulce* con 10.3 ± 2.4 , mientras que *Ariopsis felis* presenta valores que oscilan entre 9.2 ± 1.7 . Con respecto a la longitud porcentual de los lóbulos ópticos (LO), lóbulos inferiores (LI), lóbulos faciales (LF), cerebelo (C) y hemisferios telencefálicos (HC), respecto a la longitud máxima del encéfalo (tabla 3), se obtuvo que los encéfalos de mayor tamaño pertenecen a *A. felis* y la estructura que más porcentaje ocupa respecto a la longitud máxima es el cerebelo (57.6 ± 86.6) en *A. felis* en comparación con *C. aguadulce* (7.0 ± 1.9). Mientras que los hemisferios telencefálicos con 30 ± 42.5 (HC, *C. aguadulce*), 30 ± 42.5 (HC, *A. felis*) y los lóbulos ópticos con 27.1 ± 37.2 (HC, *C. aguadulce*); 21.1 ± 2.1 (HC, *A. felis*),

representan proporciones similares respecto a la longitud máxima del encéfalo (Tabla 2, 3).

Tabla 2. Datos de la longitud porcentual (LP%) respecto de la longitud máxima patrón (LP), para *C. aguadulce* y *A. felis*.

Medida	<i>Cathorops aguadulce</i> (n=30)				<i>Ariopsis felis</i> (n=16)			
	Intervalo LP	Intervalo LP%	\bar{x} LP	\bar{x} LP%	Intervalo LP	Intervalo LP%	\bar{x} LP	\bar{x} LP%
Largo	1.30-27.8	1.1-13.8	15.6±3.7	10.3±2.4	13.0-21.9	6.8-13.8	15.5±3.2	9.2±1.7

Tabla 3. Datos de la longitud porcentual (L%) respecto de la longitud máxima (L) del encéfalo de los lóbulos ópticos (LO), lóbulos inferiores (LI), lóbulos faciales (LF), cerebelo (C) y hemisferios telencefálicos (HC), respecto de la longitud máxima para *C. aguadulce* y *A. felis*.

Estructura	<i>Cathorops aguadulce</i> (n=30)				<i>Ariopsis felis</i> (n=16)			
	Intervalo L	Intervalo L%	\bar{x} L	\bar{x} L%	Intervalo L	Intervalo L%	\bar{x} L	\bar{x} L%
HC	2.1-4.9	13.8-25.3	3.5±0.6	30±42.5	2.7-5.8	20.77-30.3	3.9±1.1	24.8±2.4
LO	2.3-4.7	13.5-22.3	3.2±0.5	27.1±37.2	2.5-5.3	18.52-24.2	3.3±0.9	21.1±2.1
C	5.4-8.1	28.1-51.5	6.6±0.6	57.6±86.6	5.5-10.7	41.73-50.2	7.0±1.9	7.0±1.9
LV	0.1-2.1	0.6-10	1.1±0.5	10.2±17.2	0.6-2.5	4.44-12.3	1.2±0.6	8.0±2.8
LF	1.3-3.7	8.3-22.3	2.7±0.5	24.4±37.7	1.5-4.4	9.32-20.0	2.4±0.7	15.46±2.8
LI	2.8-3.9	14-21.5	3.3±0.3	27.4±35.6	2.7-5.7	20.0-26.7	3.6±1.0	23.52±2.3

Al realizar el análisis de correlación de Pearson, considerando una mejor aproximación mientras más cercano a 1 sea el valor, se tuvo que las variables del encéfalo con mayor correlación al tener 0.7, fueron: el peso del encéfalo-longitud cefálica, ancho del encéfalo-peso del encéfalo, los lóbulos ópticos-altura del encéfalo, cerebelo-ancho del encéfalo, cerebelo-hemisferios telencefálicos, hemisferios telencefálicos-peso del encéfalo, lóbulos vagos-altura, lóbulos inferiores-altura y lóbulos vagos con hemisferios telencefálicos. Con estos datos al realizar el análisis de componentes principales para los encéfalos de ambas especies, la varianza

acumulada en un total de 10 componentes fue de 95%. Posteriormente, se eligieron los componentes 1 y 2 ya que representaban una mejor relación, los cuales fueron sometidos a un análisis discriminante, obteniendo un éxito discriminatorio del 51% (57% machos, 45% hembras) para la especie *C. aguadulce* y un 49% (43% machos, 55% hembras) para la especie *A. felis*. Con estos datos se obtuvo que hay un dimorfismo sexual marcado en las estructuras del encéfalo indicado con un 56.52 de discriminación. Posteriormente al calcular la distancia de Mahalanobis se obtuvo un valor de 0.9, lo que nos denoto que si hay una diferencia dentro de los sexos para los componentes estudiados (componentes 2 y 3) (Fig. 29).

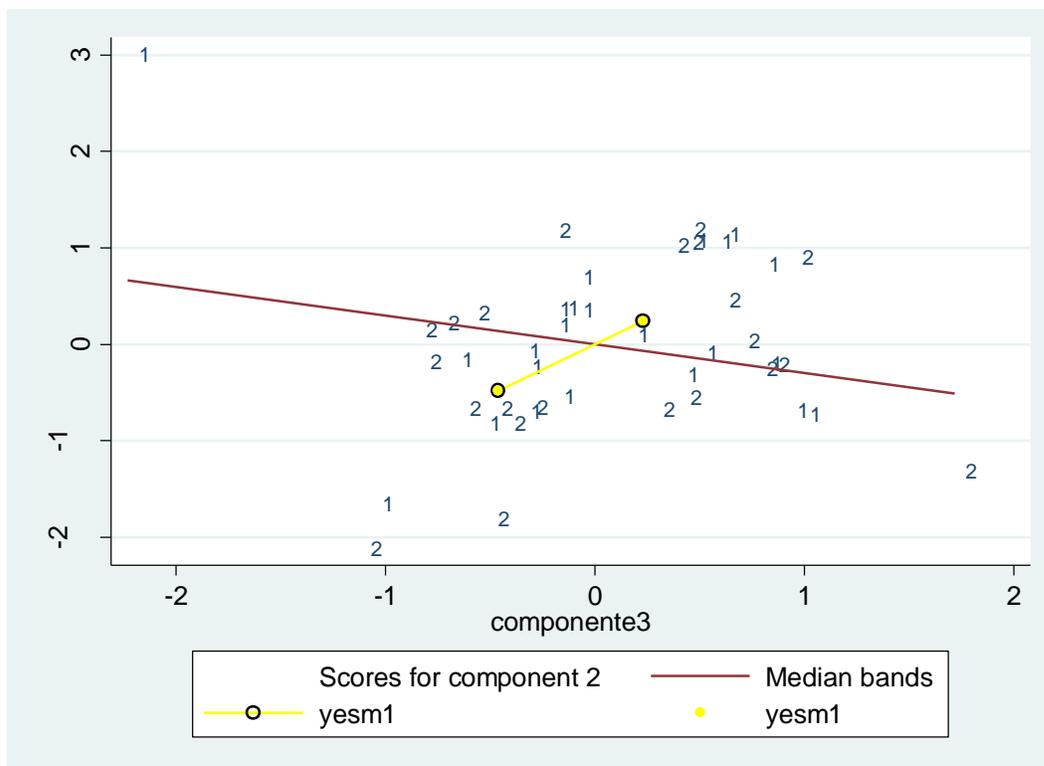


Figura 29. Grafica de dimorfismo (basado en el encéfalo) para los componentes principales de *Cathorops aguadulce* y *Ariopsis felis*. 1: *C. aguadulce*; 2: *A. felis*.

Discusión

Tanto la alimentación como la época del año influyen en la distribución y densidad de los bagres ya que tienen una constancia y persistencia tanto temporal como espacial de sus procesos reproductivos, por lo que en las capturas se obtuvieron tallas de 103.3-263 mm de longitud, en ambas especies a pesar de pertenecer a sistemas diferentes. En *C. aguadulce* se le atribuye ya que, al ser recolectados en las orillas del mercado, los pescadores arrojan constantemente restos de otros peces generando una fuente de alimento en constante movimiento y para el caso de *A. felis* los adultos o juveniles que están cercanos a la época de reproducción se encuentran en zonas con mayor profundidad. La baja presencia de machos también está relacionado con el proceso reproductivo ya que se tienen registros de avistamientos de cardúmenes de machos entre septiembre y octubre y el muestreo fue realizado durante el mes de julio (Wanger, 2001; Segura-Bertolini & Mendoza-Carranza, 2013).

De acuerdo con la distribución general característica de los teleósteos, en cuanto a los lóbulos, ambas especies presentan la misma regionalización del encéfalo, la cual corresponde a la descrita por Lagler *et al.* (1984): rombencéfalo, telencéfalo y diencéfalo.

Las similitudes y diferencias reportadas en este trabajo radican en cuanto al tamaño relativo del cerebro en ambas especies. Dichas diferencias nos sirven para determinar el grado de desarrollo de las unidades morfofuncionales principales que lo conforman: telencéfalo, mesencéfalo, diencéfalo y rombencéfalo, que de acuerdo con las descritas por Abrahao & Muller (2015) concuerdan en su disposición al orden Siluriformes.

Esta comparación, en el tamaño de las unidades morfofuncionales, nos ayuda a conocer la ubicación filogenética de las especies, la forma de vida que lleva el organismo, el hábitat en el que se ha desarrollado (el encéfalo) tanto en estado juvenil como las preferencias del pez en estado adulto, alimentación, reproducción y comportamiento individual (Kihslinger & Nevitt, 2005; Tenorio-Colín *et al.*, 2010).

Los resultados indican que las especies bajo estudio tienen muy desarrollados los tractos olfatorios y nervios ópticos en comparación con otros Siluriformes, como *Pimelodus pictus* (Valderrama-Vizcaino *et al.*, 2013). En dicho trabajo no consideraron medir la longitud total del encéfalo ya que no son considerados estructuras de integración, más bien son estructuras de conducción de información de los bulbos olfatorios y los hemisferios telencefálicos (Londoño & Giraldo, 2010).

A diferencia del encéfalo de otras familias de teleósteos estudiadas, el encéfalo de *A. felis* y *C. aguadulce* no se encuentra recubierto de tejido graso abundante, ya que este tejido se relaciona con el mantenimiento de la temperatura cerebral (aislamiento térmico) y estas especies se encuentran en ambientes con temperaturas que oscilan entre los 26°C-28°C y no presentan amplio desplazamiento vertical en la columna de agua, por estas razones es que no es necesaria una protección dorsal en el encéfalo (Obando-Bulla *et al.*, 2013).

Debido a que las especies pertenecen al mismo orden (Siluriformes) la mayoría de las características morfológicas son compartidas. Las diferencias encontradas en las estructuras examinadas radican en que el encéfalo de *C. aguadulce* es más largo y angosto, mientras que el de *A. felis* es más ancho y corto. Los demás patrones morfológicos compartidos pueden tener y ser interpretados desde una perspectiva ecológica (Kotrschal *et al.*, 1998).

Las diferencias morfológicas y morfométricas al ser mínimas entre los cerebros de *C. aguadulce* y *A. felis*, no nos indican una variación intraespecífica, aunque esto puede estar enmascarado por el tamaño y disposición de los organismos representantes en la muestra. De esta manera, se puede corroborar la importancia del estudio de la anatomía del encéfalo, aun incluso entre especies estrechamente relacionadas como las estudiadas, por la importancia del sistema sensorial empleado considerando lo descrito por Wanger (2001), en donde se mencionan las relaciones directas de utilidad de los sistemas olfativos y visuales con el tamaño del cerebelo, confirmando esta estructura como motor principal de coordinación de los sistemas sensoriomotores.

Dado que cada especie pertenece a sistemas diferentes (estuarinos con poca profundidad y baja claridad, para *C. aguadulce*, y los sistemas marinos costeros, para *A. felis*, presenta tendencias en menor o mayor medida a ser carroñeras y alimentarse de restos orgánicos con lo que se relaciona una necesidad de coordinación del movimiento para la captura de sus presas y una respuesta rápida a la baja visibilidad (Meek, 1904).

En el análisis alométrico se observa que los elementos del encéfalo como son los hemisferios telencefálicos y cerebelo están asociados con la longitud patrón del pez para ambas especies y presentan una isometría positiva (Angulo & Langeani, 2017) en ambos sexos, lo que significa que la longitud del encéfalo crece proporcional a la longitud patrón de los organismos.

De las demás estructuras (lóbulos vagos, faciales, ópticos, inferiores, vagos, el cerebelo y los hemisferios telencefálicos) los valores de longitud fueron similares indicando que no hay diferencias significativas entre las dos especies, exceptuando el cerebelo, estructura en la cual merísticamente se observaba diferencia, además de morfológicamente ya que la forma cambia notablemente en el ápice y sus valores de longitud oscilan entre 5.4-8.1 mm (*C. aguadulce*) y 5.5-10.7 mm (*A. felis*), con lo que se tiene que los rangos son mayores en la especie *A. felis*.

Como el cerebelo es relativamente grande en ambas especies, se podría relacionar a un mayor grado de coordinación motora en el momento de la natación ya que *C. aguadulce* vive en ambientes de aguas turbias en los fondos lodosos (Lagler *et al.*, 1984; Castro-Aguirre *et al.*, 1999). Por su parte, *A. felis* vive asociado a los fondos marinos y mayormente expuesto a los depredadores, además en alguna etapa juvenil incursiona en zonas estuarinas de baja profundidad al igual que *C. aguadulce* (Miller, 2009), las cuales presentan una mayor cantidad de obstáculos como troncos, por lo que las estructuras sensoriales como son las barbillas y sus sistemas olfatorios son esenciales para sobrevivir y desplazarse en su hábitat de manera eficaz con las condiciones específicas de cada medio (Wanger, 2001).

A pesar de que viven en un entorno estructuralmente complejo, estos peces obviamente pueden capturar presas y esconderse rápidamente de los depredadores, corroborando así las necesidades que cubre el cerebelo, además los bagres en su mayoría tienen hábitos nocturnos y requieren usar en gran medida estructuras de su sistema sensoriomotor (barbillas y ojos), las cuales están relacionadas directamente con el tamaño relativamente grande del cerebelo (Bauchot, *et al.* 2000; Wagner, 2001).

Aunque aún falta información sobre el papel del cerebelo en los peces, en general esta parte del cerebro es esencial en la integración sensoriomotora y recibe información sensorial de varias regiones del sistema nervioso central, incluidos los sistemas de línea lateral, auditivo, visual, vestibular, somatosensorial y principalmente sensoriomotor, que proporcionan orientación espacial, propiocepción y coordinación de los movimientos oculares en los peces, por lo que tiene una o varias entradas sensoriales (del sistema nervioso central) para procesar la información y así proporcionar equilibrio y coordinación motora al pez (Kotrschal, *et al.*, 1998; Meek & Nieuwenhuys, 1998; Butler & Hodos, 2005).

Los lóbulos faciales y vagos en ambas especies son pequeños, lo que se puede relacionar a la proporción del espacio ocupado por el cerebelo, indicando que ambas especies tienen un comportamiento de alimentación elaborado (Obando-Bulla, *et al.* 2013; Rincón *et al.*, 2013).

La amplia longitud de los tractos olfatorios y ópticos se relaciona con la región del tectum óptico ya que esta región es la que recibe información sensorial de la retina a través del nervio óptico, es responsable de generar señales que proporcionan coordinación de la respuesta motora y de recibir información de los sistemas somatosensorial y auditivo que en combinación son fundamentales en la coordinación motora y en la coordinación de los ojos para promover las respuestas del *cerebelo* y el *tectum óptico* (Meek & Nieuwenhuys, 1998). Y así conseguir y dirigir con éxito los estímulos para capturar presas (Butler & Hodos, 2005).

Los lóbulos faciales y vagos también están asociados a la percepción gustativa ya que reciben la información de las papilas gustativas de las barbillas, boca, faringe, arcos branquiales y la eminencia granular asociada con la percepción mecánica sensorial que recibe la entrada sensorial percibida por los mecánicos receptores de línea lateral (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

La información relacionada al tamaño y morfología del encéfalo para la familia Ariidae es escasa, pero se puede comparar el encéfalo con el de otras especies de teleosteos como es el caso de la familia Gadidae la cual presenta una alimentación similar a la de las especies estudiadas, en donde se indica que *Pimelodius mangurus* es carnívoro. (Mendoza-Carranza, 2003).

En la familia Gadidae los peces que se alimentan principalmente de invertebrados, restos de plantas y restos orgánicos (en menor cantidad), es más grande el lóbulo facial y vago, mientras que los que se alimentan principalmente de otros peces y restos orgánicos (parcialmente carnívoros siguiendo la relación tamaño-alimento) (Meek y Nieuwenhuys, 1998; Kobelkowsky, 1998), al igual que *C. aguadulce* y *A. felis* presentan un tamaño menor dichos lóbulos (Mendoza-Carranza, 2003).

Entonces se apoya la relación tamaño-alimento (carnívoros/carroñeros) con la morfología de los lóbulos vagos y faciales ya que estos resultados también se han observado en algunos estudios a especies de *Pseudopimelodus* que presentan el cerebelo relativamente grande y el lóbulo facial y vago son relativamente de menor tamaño, asociando así su comportamiento activo en su medio y un leve carroñerismo (Shibatta 1998).

Todas las adaptaciones reflejadas en la morfología del encéfalo se desarrollaron varias veces de forma independiente durante la larga filogenia de diferentes radiaciones de teleósteos, esto implica que en los estudios neurobiológicos del sistema nervioso central, siempre debe incorporarse tanto las relaciones filogenéticas como las especializaciones funcionales de cualquier especie investigada, ya que no se puede presentar una imagen general de un grupo tan divergente de vertebrados primitivos (Meek & Nieuwenhuys, 1998).

Por otra parte, al comparar las estructuras del encéfalo de *C. aguadulce* y *A. felis* con la familia Characidae, se confirma nuevamente la relación de la forma de vida y necesidades del pez con el tamaño y la forma del cerebelo principalmente, además de los hemisferios telencéfalos (Obando-Bulla, *et al.* 2013), los cuales presentan un menor tamaño en comparación a los estudiados de la familia Ariidae, y esto se debe a que la alimentación de la familia Characidae es diferente a la de la familia Ariidae ya que *Pseudocorynopoma doriae* es un consumidor de superficie de ambientes lénticos y se basa principalmente de insectos y restos orgánicos (plantas). Dando como resultado las notables diferencias en cuanto al tamaño y forma del cerebelo y hemisferios telencefálicos (Brancolin, *et al.*, 2014)

Como ya se mencionó anteriormente los estudios sobre arquitectura cerebral permiten un aumento en la cantidad de caracteres informativos para la sistemática, y también ayudan a comprender el comportamiento y los hábitos de los peces. Cabe destacar que existe un gran horizonte para los estudios sobre anatomía cerebral teniendo en cuenta la gran diversidad de teleósteos (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

Al estudiar el desarrollo del encéfalo se relacionan los factores ambientales, en donde se indica que se presentan variaciones intra e interespecíficas en el tamaño del encéfalo dependiendo del estilo de vida y las condiciones del hábitat del pez (Meek, 1904).

Conclusiones

- Los organismos usados son adultos de acuerdo con los resultados de longitud con los intervalos de tallas de 107.6-223 mm (*C. aguadulce*) y 103.3-263 mm (*A. felis*).
- No hay diferencia estadística significativa en las pendientes de las relaciones peso-longitud patrón para hembras y macho de ambas especies (*C. aguadulce* y *A. felis*).
- No hay diferencias estadísticas para la relación de la longitud-peso entre sexos de ambas especies (*C. aguadulce* y *A. felis*).
- Ambas especies presentan el mismo patrón morfológico común de acuerdo con la disposición de las unidades morfofuncionales básicas del encéfalo de teleósteos (telencéfalo, diencefalo y mesencefalo).
- Los tractos olfatorios y nervios ópticos como estructuras de conducción, son sésiles y rostrales a los hemisferios cerebrales en *C. aguadulce* y *A. felis*.
- Los lóbulos ópticos e inferiores son las estructuras con mayor semejanza en la longitud, pero no presentan diferencias significativas entre *C. aguadulce* y *A. felis*.
- El crecimiento del cerebro (LT) es proporcional al crecimiento del pez (LP), indicando un crecimiento isométrico en *C. aguadulce* y *A. felis*.
- Hay diferencias significativas en la longitud y el ancho del cerebro; para *C. aguadulce* es mayor el largo mientras que para *A. felis* el ancho es mayor.
- De todas las estructuras analizadas el cerebelo es el del mayor tamaño en *C. aguadulce* y *A. felis* y es la estructura principal para la caracterización y diferenciación entre especies por su importancia en la relación de la alimentación y movilidad dentro de los hábitats.
- La morfología y estructura del encéfalo de los teleósteos no refleja las relaciones de parentesco con sus grupos hermanos, si no la composición y complejidad del hábitat.

Referencias

- Abrahao V. & Muller F., (2015). Técnica de disección del neurocráneo de Siluriformes para el estudio de encéfalo. *Boletín de la sociedad brasileña de Ictiología*. 112-116.
- Angulo A. & Langeani F. (2017). Gross brain morphology of the armoured catfish *Rineloricaria heteroptera*, Isbrücker and Nijseen (1976), (Siluriformes: loricaridae: Loricariinae): A descriptive and quantitative approach. *Journal of Morphology*. 278(12):1689-1705.
- Anzueto-Calvo M., Velázquez-Velázquez E., Gómez-González A., Quiñones R. & Olson B. (2013). *Peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Primera edición. 230 p.
- Arratia G., Kapoor B. G. & Chardon M. (2003). *Catfishes*. Ed. Science Publishers, Inc. USA. 487 p.
- Bauchot, R., J. E. Randall, J. M. Ridet y M. L. (2000). Encephalization in tropical teleost fishes and comparison with their way of life. *Journal fur Hirnforschung*. 30: 645-669.
- Bernard, D.R. (1981). Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 38:233-236.
- Betancur-R. (2008). Filogenia de los Bagres Marinos (Siluriformes: Ariidae) del Nuevo Mundo. *Boletín INVEMAR*, 9(2):72-73.
- Brancolin F., Maroñas M.E. & Sendra E.D. (2014). Dieta de *Pseudocorynopoma doriae* (Characiformes: Characidae), en el arroyo la Choza, Buenos Aires, Argentina. *Biología acuática*. 30:259-265.
- Bogan S. & Agnolin F. (2011). Descripción de una nueva especie de bagre marino fósil (Teleostei, Siluriformes, Ariide) del Mioceno de la provincia del

Río Negro, Argentina. *Museo de zoología de la Universidad de Sao Paulo*. 51(25):373-382.

- Butler, A.B. & Hodos, W. (2005). *Comparative vertebrate neuroanatomy: Evolution and adaptation*. New Jersey, Wiley & Sons.
 - Carpenter, M. B. (1976) *Human neuroanatomy*. Williams and Wilkins Co. U.S.A. 49-70 p.
 - Castro-Aguirre J., Espinoza-Pérez H. & Schmitter-Soto J., (1999). *Ictiofauna Estuarino-Lagunar y vicaria de México*. Ed. Limusa, México.
 - Escobedo, M. (2008). P. CH. mahalanobis y las aplicaciones de su distancia estadística. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. *Cultura científica y tecnológica*. 27 (5). 13-20.
 - Guerra-Dávila, T. Marques Dos Santos, M. J. López-Reynoso, JM. (2005). *Cuaderno de problemas de probabilidad y estadística*. UNAM, FES Zaragoza. México. 254 p.
 - Kailola, P.J. (2004). A phylogenetic exploration of the catfish family Ariidae (Otophysi: Siluriformes). *The Beagle, Records of the Museums and Art Galleries of the Northern Territory*. 20: 87-166.
 - Kihlslinger R. & Nevitt G. (2005). Early rearing environment impacts cerebellar growth in juvenile salmon. Section neurobiology Physiology and Behavior, UC Davis, Davis CA, USA. *The Journal of Experimental Biology*. 209: 504-509.
 - Kobelkowsky A. & Castillo-Rivera M. (1995). Sistema digestivo y alimentación de los bagres (Pisces: Ariidae) del Golfo de México. *Hidrobiológica*. 5 (1-2):95-103.
 - Kobelkowsky A. (1998). Sistema digestivo y vejiga natatoria del bagre del Balsas *Ictalurus balsanus*. *Revista Sociedad Mexicana de Historia Natural* 48:87-93.
 - Kotrschal, K., M. J. van Staaden & R. Huber. (1998). Cerebro de peces: evolución y relaciones ambientales. *Revisiones en biología y pesca de peces*. 8: 373-408.
-

-
- Lagler K., Bardach J., Miller. & May-Passino D. (1984). *Ictiología*. Ed. OGT Editor, S.A. México. 449 p.
 - Londoño C. & Giraldo H. (2010). Estudio preliminar morfológico y morfométrico de encéfalo del pez tiburoncito, *Ariopsis seemanni*, (Pisces: Ariidae). *Universitas Scientiarum*. 15(2): 101-109.
 - Marceniuk A. & Betancur-R., R. (2008). Revision of the species of the genus *Cathorops* (Siluriformes: Ariidae) from Mesoamerica and the Central American Caribbean, with description of three new species. *Neotropical Ichthyology*. 6(1):25-44.
 - Marceniuk A. (2005). *Clave para identificar las especies de bagres marinos (siluriformes, ariidae) de la costa brasileña*. B. Inst. Pesca, Sao Paulo. 37(2):89-101.
 - Marceniuk A., Betancur-R. P., Acero A., and Muriel-Cunha J. (2010). Review of the Genus *Cathorops* (Siluriformes: Ariidae) from the Caribbean and Atlantic South America, with Description of a New Species. *Bulletin of Marine Science* 1:77- 97.
 - Meek, J. & R. Nieuwenhuys. (1998). *The Central Nervous System of Vertebrates*. Springer, Berlin. 759-937 p.
 - Meek, J. y R. Nieuwenhuys. (1998). Holósteos y teleósteos. Páginas. 759-937. En: Nieuwenhuys, R., HJ Ten Donkelaar y C. Nicholson. (Eds.). El Sistema Nervioso Central de los Vertebrados. Berlín: Springer-Verlag.
 - Meek, S. E. (1904). The freshwater fishes of México, north of the istmus of tehuantepec. *Field Museum of Natural History, Zoological Series*. 5: 1-252.
 - Mendoza-Carranza M. (2003). Los hábitos de alimentación del bagre *Bagre marinus* (Ariidae) en Costa Paraíso, Tabasco, México *Hidrobiológica*. 13 (2): 52-55.
 - Miller R. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. Primera edición. CONABIO, Simac, ECOSUR y Desert fishes council, México. 185-192.
-

-
- Moyle, P. B., & J. J. Cech, Jr. (1982). *Fishes: An Introduction to Ichthyology*, (2nd Edition). Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 593 pp.
 - Nadal J. (2001). *Vertebrados: origen, organización, diversidad y biología*. Ed. Omega. 220-362.
 - Nelson J. (2009). *Fishes of the world*. University of Alberta-Department of Biological science. Fourth edition, Ed. Wiley, Canada. 860 p.
 - Northcutt R. G. (1988). Sensory and other neural traits and the adaptations program: Mackerel of San Marco. In J. Atema, R. R. Fay A. N Popper, & W. N. Tavolga (Eds.), *Sensory biology of aquatic animals New York, NY: Springer-Verlag*. 886-883 p.
 - Northcutt R.G. (2001). Evolution of the Nervous System. Changing views of brain evolution. *Brain Res Bull*, 55 (6): 663-674.
 - Northcutt R.G. (1981). Evolución del telencefalo en mamíferos. *Revista Neurociencias*. 4:301-350.
 - Obando- Bulla M., Gomez-Ramírez E., Tovar-Bohorquez M., Rincon L., Caldas-Martinez M. & Hurtado-Giraldo H. (2013). Estudio morfométrico y topológico del cerebro del pez neón cardenal, *Paracheirodon axelroddi* (Characiformes: Characidae). *Actual Biología*. 35 (98): 45-61.
 - Puellas L., Martínez S. & Martínez de la Torre M. (2008). Neuroanatomía. Editorial Médica Panamericana. 420 p.
 - Ricker, W. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research*. Board of Canada. 191:382.
 - Rincón L., Cavallino L., Alonso F., Lo Nostros F & Pandolfi M. (2016). Morfometría y topología del cerebro del pez tetra cola roja, *Aphycharax anisits* (Characiformes: Characidae). *Investigación y desarrollo pesquero*. 29: 15-32.
 - Ruiz, W. B. G., & Shibatta, O. A. (2010). A new species of *Microglanis* (Siluriformes, Pseudopimelodidae) from lower Rio Tocantins basin, Pará,

Brazil, with description of superficial neuromasts and pores of lateral line system. *Zootaxa*, 2632(1), 53-66.

- Saporta, G. (2011) *Probabilités, Analyse de données et Statistique*, Dunod. 14 p.
- Segura-Bertolini, E & Mendoza-Carranza, M. (2013). La importancia de los machos del bagre bandera, Bagre marinus (Pisces: Ariidae), en el proceso reproductivo. *Ciencias marinas*, 39(1), 29-39.
- Shibatta, O.A. (1998). Sistemática y evolución de la familia Pseudopimelodidae (Ostariophysi, Siluriformes), con una revisión taxonómica del género *Pseudopimelodus*. Doctorado no publicado. Disertación, Universidad Federal de São Carlos, São Carlos, 357p.
- Strieder, GF. (2005). *Principles of brain Evolution*. Sinauer Associates Inc. 436 p.
- Takashima F. (1995). *An atlas of fish histology and pathological features*. Tokyo University of fisheries. Second edition, Ed. Ltd, Tokyo. 186-192 p.
- Tenorio-Colín G., Rodríguez-Estrada U., Uribe-Alcocer M. & Díaz-Jaimes P., (2010). Relaciones filogenéticas entre cinco especies de bagres (Pisces: Ariidae) de México. *Hidrobiológica*. 20(3):266-274.
- Wanger H. (2001). Brain areas in abyssal demersal fishes. *Brain, Behaviour and Evolution*. 57(6): 301-316.
- Wulliman M.F. & Northcutt R.G. (1998). Connections of the corpus cerebelli in the green sunfish and the common goldfish: a comparison of perciform and cypriniform teleosts. *Brain, Behavior and Evolution* 32:293-316.
- Wulliman M.F., Rupp, B., Reichert, H. (1996). Neuroanatomy of the Zebrafish Brain. A Topological Atlas. Basel, Switzerland: Basel, Switzerland: Birkhäuser Verlag. 160 p.