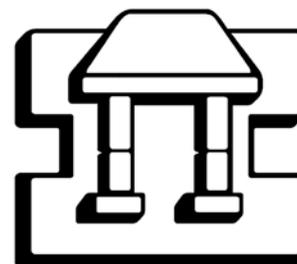




Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios
Profesionales
Iztacala



Carrera de Biología

Estudio alométrico del cerebro del Charal
Chirostoma humboldtianum
(Actinopterygii: Atherinidae)

Tesis que para obtener el título de:

Bióloga

Presenta:

Ana Laura Jiménez Rojas

Director de tesis:

Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez

Septiembre de 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Índice

Resumen.....	I
1.- Introducción.....	1
1.1.- Generalidades.....	1
1.2.- Estructura del Cerebro de los Peces Teleósteos.....	2
1.3.- Características Filogénicas del Cerebro de los Teleósteos.....	11
1.4.- Alometría.....	16
1.5.- Biología de <i>Chirostoma humboldtianum</i>	18
1.5.1.- Género <i>Chirostoma</i>	18
1.5.2.- Descripción de <i>Chirostoma humboldtianum</i>	19
1.5.3.- Clasificación Taxonómica.....	20
1.5.4.- Distribución Geográfica.....	21
1.5.5.- Aspectos Biológicos.....	22
a) Alimentación.....22, b) Reproducción.....22, c) Crecimiento.....	23
d) Clases de edad.....23, e) Ecología.....24, f) Impacto Antropogénico.....	24
1.6.- Lugar de Colecta del “Charal” <i>Chirostoma humboldtianum</i>	25
1.6.1.- Breve Historia orográfica e hidrológica del Sistema Lerma-Santiago.....	26
2.- Antecedentes.....	27
3.- Objetivos.....	34
3.1.- General.....	34
3.2.- Particular.....	34
4.- Metodo.....	35
4.1.- Materiales.....	35
4.1.1.- Biológico.....	35
4.1.2.- de Laboratorio.....	35
4.2.- Método.....	35
4.2.1.- Muestreo.....	35
4.2.2.- Caracteres Morfométricos.....	36
4.2.3.- Extracción de encéfalos.....	37
4.2.4.- Medición de los Encéfalos.....	37
5.- Resultados.....	41
5.1.- Resultados del Análisis de Regresión y Correlación.....	41
5.1.1.- Longitudes Cerebrales.....	41
5.1.2.- Volúmenes Cerebrales.....	46
5.1.3.- Análisis Estadístico de la comparación de los coeficientes de alometría.....	50
6.-Discusión.....	51
7.-Conclusiones.....	54
8.-Bibliografía.....	55
Apéndices.....	II

Resumen

En este trabajo se presenta el estudio alométrico del cerebro del charal endémico de México *Chirostoma humboldtianum* (Atherinidae: Actinopterygii); para lo cual de 250 individuos capturados se tomaron medidas morfométricas se fijaron en formol al 4 % y a 42 cerebros obtenidos intactos se midieron el ancho y largo y se obtuvo el volumen de las porciones anterior, media y posterior, aplicando el análisis alométrico para buscar el tipo ontogénico, (Gersnowies, 2007), encontrando que las 3 porciones crecen a diferente ritmo y que aunque dichas estructuras presentan alometría negativa, la porción que más se desarrolla es la posterior la cual tiene actividad acústico-lateral, le sigue la porción anterior lo cual posiblemente este relacionado con el predominio del olfato y la parte media se desarrolla en menor grado lo cual evidencia la reducción de la importancia de la actividad visual en la vida del organismo.

PALABRAS CLAVE: Alometría, alometría ontogenética, orientación sensitiva, cerebro, *Chirostoma humboldtianum*.

1

Introducción

1. 1.- Generalidades

Un pez es un organismo acuático, con respiración branquial y locomoción por aletas (Nelson, 1994). Alrededor del mundo hay un total estimado de 26 959 especies de peces (Gibbs, 2002) siendo el resultado de más de 400 millones de años de evolución (Romer, 1959). Por su parte México cuenta con la diversidad de ictiofauna, estimada en cerca de 10% de las especies que se conocen en la tierra, pero su riqueza biológica no sólo radica en la diversidad sino también en el hecho de que un elevado número de especies son endémicas de México (De la Vega, 2003). Desde los Agnatos a los Osteichthyes, ellos abarcan virtualmente todos los hábitats acuáticos (Lagler, 1977).

Tradicionalmente los peces se agrupan en 4 clases: Agnatha para los peces que no tienen mandíbula, como las lampreas y sus parientes fósiles; Gnathostomados para los peces mandibulados que ahora están extintos; Chondrichthyes donde se encuentran los peces cartilagosos como tiburones, rayas y quimeras; y por último los Osteichthyes, los peces óseos modernos, que habitan actualmente la gran mayoría del mundo acuático (Nelson, 1994), estos últimos se dividen a su vez en Sarcopterigios o peces de aletas carnosas (los que incluyen a los peces pulmonados o *Dipnoi*, Crosopterios o *Latimeria*), y los Actinopterigios o peces con aletas de radios que se dividen en dos grupos, los Holósteos que están restringidos en dos géneros los *Lepisosteus* con siete especies y *Amia* con una especie y los Teleósteos (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

Los Teleósteos son el grupo más numeroso de peces óseos Osteoichthyes ya que comprenden más de 25,000 especies (Nieuwenhuys, 1982, Nelson, 1994; Meek y Nieuwenhuys, 1998). La radiación de los teleósteos es amplia, Lauder y Liem (1983) los ordenan en 4 grupos principales: desde los más antiguos Osteoglossomorpha, Elopomorpha cuyo género más conocido e investigado es *Anguilla*, el tercero son los Clupeomorpha donde el arenque *Clupea* es el ejemplo más típico, y el último en aparecer, Euteleostei comprenden 8 superordenes o grupos (apéndice 1) (Meek y Nieuwenhuys, 1998), entre ellos los Atherinomorfos son los que nos interesan específicamente la especie *Chirostoma humboldtianum*, con la que se realizó el presente estudio.

Referidos como Acanthopterygii y pertenecientes a los Neoteleostei, los Atherinomorfos se encuentran entre los géneros mejor representados *Chirostoma*, con 19 especies, y los *Cyprinodon* con 18 especies, así como un alto grado de endemismos por nombrar algunas de ellas se encuentran Cyprinidae (con 40 especies endémicas), Poecilidae (con 39), y Atherinidae (con 25, de los cuales 18 son del género *Chirostoma*) (De la Vega, 2003).

En cuanto a los Atherinidae son de gran interés por ser una pesquería importante en México (Cházaro, 1989), el cultivo de esta familia se conoce como aterinicultura; la cual procura explotar diversas familias con fines de repoblación pero por la exquisitez de su carne se realizan esfuerzos por explotarlos a nivel comercial (Pérez, 1982), en nuestro país una pesquería importante esta representada por el género *Chirostoma*, la cual ya desde la época prehispánica se realizaba con fines alimenticios (Borrego, 2001). La especie más representativa es *Chirostoma humboldtianum* y por tal motivo se decidió realizar la investigación con este organismo.

1. 2.- Estructura Anatómica del Cerebro de los Peces Teleósteos

El sistema nervioso de los vertebrados se describe usualmente en cuatro grandes divisiones que son: 1) sistema nervioso central; 2) sistema nervioso periférico; 3) sistema nervioso autónomo y 4) órganos de los sentidos. Cada una de estas divisiones tiene subdivisiones en regiones específicas, la principal es el sistema nervioso central que incluye a) al cerebro, el órgano en el que se enfoca el presente trabajo; y b) la médula espinal (Chiasson, 1980).

El cerebro se encuentra contenido en la bóveda cerebral que puede limitar su tamaño únicamente en algunos de los representantes más pequeños de los modernos teleósteos perciformes. En la mayoría de los peces, sin embargo, el cerebro es apreciablemente más pequeño que el tamaño disponible de la bóveda cerebral y en algunos de los casos puede ocupar solamente alrededor de un 6 % de la cavidad cerebral como en algunos elasmobranquios. El espacio excedente se llena usualmente con tejido graso linfático (figuras 1 y 2), que es una masa gelatinosa y junto con la bóveda cerebral lo protege contra traumatismos (Kruska, 1988).

Los cerebros presentan un desarrollo alométricamente negativo con relación al tamaño del cuerpo (Northcutt, 1983) ya que peces ontogenéticamente y filogenéticamente pequeños tienden a poseer cerebros relativamente grandes y viceversa (Ridet y Brauchot, 1990a).

Aunque el índice de cefalización exija de una interpretación cuidadosa, la tendencia parece estar dirigida hacia el incremento en el tamaño del cerebro durante el desarrollo filogenético (Klingenberg, 1998).

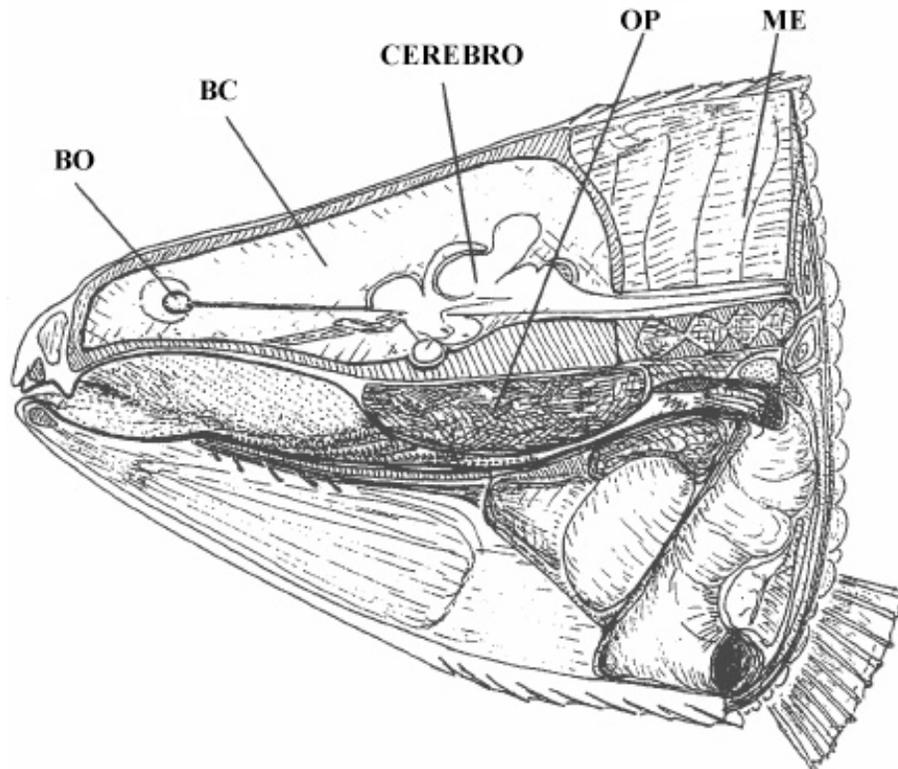


Figura 1.- Sección sagital a través de la cabeza de una carpa común de aproximadamente 20 cm de longitud. La espaciosa bóveda cerebral se rellena de tejido graso linfático y esta parcialmente ocupada por el pequeño cerebro en este caso, en los especímenes de peces más grandes, el cerebro es proporcionalmente menor. BO, Bulbo olfatorio; BC, bóveda cerebral; ME, musculatura epiaxial; OP, órgano palatino (inervado por el nervio vago X). (Kotrschal, et. al., 1998).

Los cerebros de los peces exhiben un arreglo serial de subdivisiones típicas como los demás vertebrados; con pocas vías descendentes desde el cerebro, el sistema motor se encuentra en su mayor parte dentro de la médula espinal, con la excepción de varios reflejos sobresalientes del tallo cerebral. La información somatosensorial alcanza el cerebro primariamente por medio de nervios craneales especializados, notablemente el trigémino

(V), el facial (VII), el vago (X), y los tres nervios de la línea lateral, dos anteriores y uno posterior (figuras 3, 4, 5, 6 y 7) (Bracegirdle, 1981, Northcutt y Davis, 1983,).

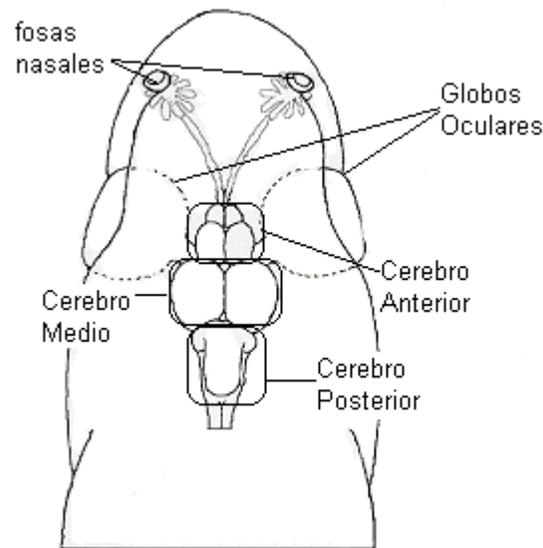


Figura 2.- Vista dorsal a través de la cabeza del salmón (*Salmo gairdneri*), Posición y tamaño relativo del cerebro de un espécimen de aproximadamente 12 cm de longitud. La bóveda cerebral en este caso es ocupada casi en su totalidad por el cerebro, en los especímenes de menor tamaño, el cerebro es proporcionalmente mayor. (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

De la porción caudal a la rostral encontramos que hay cuatro grandes divisiones del cerebro:

- a) Rombencéfalo, Mesencéfalo, Diencefalo; y Telencéfalo cada una de estas tiene estructuras específicas que son:
- b) Rombencéfalo: Mielencéfalo (Medula oblongada) y Metencéfalo (Cerebelo y puente)
- c) Mesencéfalo: *Torus Semicircularis*, Lóbulos Ópticos y Mesencéfalo.
- d) Diencefalo: Saco Vasculoso, Lóbulos Inferiores, Hipotálamo, Tálamo.
- e) Telencéfalo: Lóbulos Olfatorios, Hemisferios Cerebrales (Chiasson, 1980). Todas las estructuras anteriores se pueden observar en las figuras 3, 4, 5 y 6.

Para describir la estructura general del cerebro de los teleósteos la ilustraremos con dibujos del cerebro del salmón (*Salmo gairdneri*), ya que este no muestra especializaciones grandes sensoriales o motoras particulares, a excepción de una especialización visual que resulta en

un tectum relativamente grande, por lo que se puede presentar como el cerebro promedio de los Teleósteo (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

Rostralmente, la médula espinal se transforma en el tallo cerebral y el tegmentum del mesencéfalo y diencéfalo. El cerebelo se origina de su techo rostral y un par de lóbulos ópticos (tectum ópticum) cubre el mesencéfalo. El telencéfalo consiste de los hemisferios cerebrales pares con bulbos olfatorios unidos en su porción rostral de los hemisferios en la mayoría de los peces (Kotrschal et. al,1998).

El tallo cerebral aloja los centros primarios que representan todas las facultades somatosensoriales exceptuando el olfato y se caracteriza por un grado de variabilidad equiparado con otras pocas divisiones cerebrales (Gersenowies, 2007). El tallo cerebral tiene tres importantes áreas de materia gris en muchos peces. Las áreas más craneales son continuas con el cerebelo y forma el borde craneal del cuarto ventrículo. En los peces que presentan bien desarrolladas estas áreas se les llama lóbulos sensoriales somáticos y estos reciben estímulos de terminales del tacto en la piel. Los lóbulos faciales son centros sensitivos de receptores del gusto localizados en la piel, mientras que las paredes caudales del tallo cerebral contienen los lóbulos vágales que son sensibles a impulsos de receptores del gusto en cavidad bucal y faringea (Chiasson, 1980).

Los grupos neuronales se arreglan en cuatro columnas horizontales de componentes sensitivos de los nervios craneales IV-XII y de dos nervios rostrales y uno caudal de la línea lateral que terminan en dos columnas más dorsales, mientras que las fibras motoras se originan de centros ubicados ventralmente (Kotrschal et. al.,1998).

El cuarto ventrículo es una cavidad de la mitad dorsal del mielencéfalo (Chiasson, 1980) el techo del cuarto ventrículo esta formado por un plexo coroideo con diferentes grados de diferenciación (Kotrschal et. al.,1998). Además de varios sistemas de fibra ascendentes y descendentes, el tallo cerebral aloja la formación reticular, un sistema ubicado ventralmente para el mantenimiento básico y soporte de la vida (Northcutt y Davis, 1983).

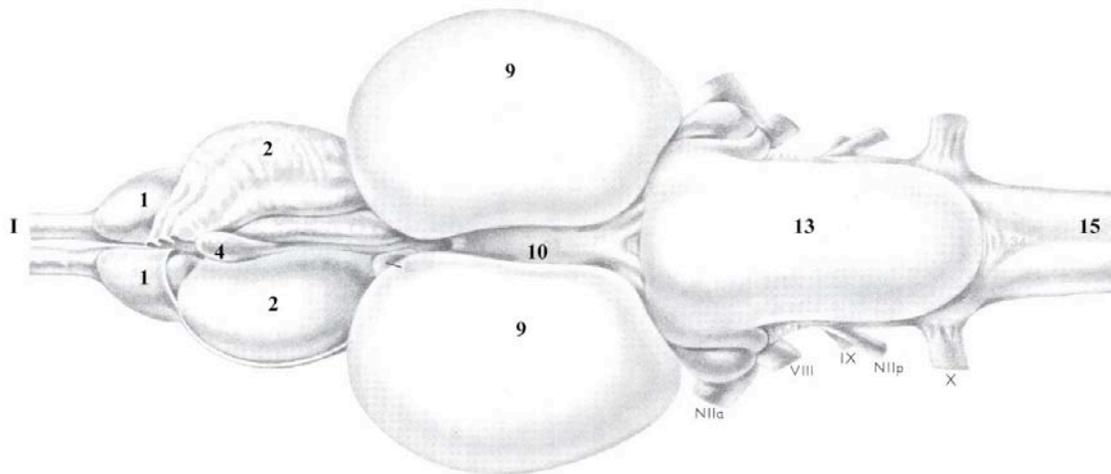


Figura 3.- Vista Dorsal del Cerebro de *Salmo gairdneri*, donde: I nervio olfatorio; II nervio óptico; VIII nervio octavo; NIIa nervio de línea lateral anterior; NIIp nervio línea lateral posterior; IX nervio glossofaríngeo; X nervio vago; 1 bulbo olfatorio; 2 telencéfalo; 4 epifisis (órgano pineal); 9 lóbulos ópticos (tectum mesencefálico); 10 *torus longitudinalis*; 13 cerebelo; 15 médula oblongada. (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

El tegmentum mesencefálico y diencefálico continúa rostralmente al tallo cerebral con sistemas de conexión e integradores para estructuras cerebrales que provienen del techo del cerebelo, tectum óptico y cerebro anterior (Northcutt y Davis, 1983). El tallo cerebral y tegmentum son continuos el uno con el otro y el núcleo subcerebeloso gustativo secundario puede servir como frontera arbitraria. En dirección rostro-caudal, el tercer ventrículo tegmental cambia de una brecha a un canal (acuoducto cerebral) estrecho antes de abrirse en el cuarto ventrículo. El lóbulo inferior del hipotálamo se empareja, los hemisferios ventrales diencefálicos sirven como centros de integración multimodal. Como en todos los vertebrados el tegmentum hipotalámico sirve para convertir las señales sensitivas en hormonales y dar respuestas de comportamiento. El saco vasculoso es un órgano circumventral de función todavía desconocida, caudal al tallo hipofiseal y presente a lo largo de una amplia gama filogenética de peces. Contiene fluido cerebroespinal en contacto con las neuronas y distintas células endimarias, es decir células de la cresta. La neurohipófisis es una glándula endocrina, que secreta múltiples hormonas (Chiasson, 1980), y sirve como una unidad de comando central humoral de fisiología y

comportamiento, y se controla por sí misma vía el hipotálamo. Dorsalmente, el plexo coroideo del tercer ventrículo forma varias extensiones, tal como el saco dorsal con su sensibilidad a la luz y la epífisis endocrina u otros órganos circumventrales (Vigh-Teichmann y Vigh, 1983).

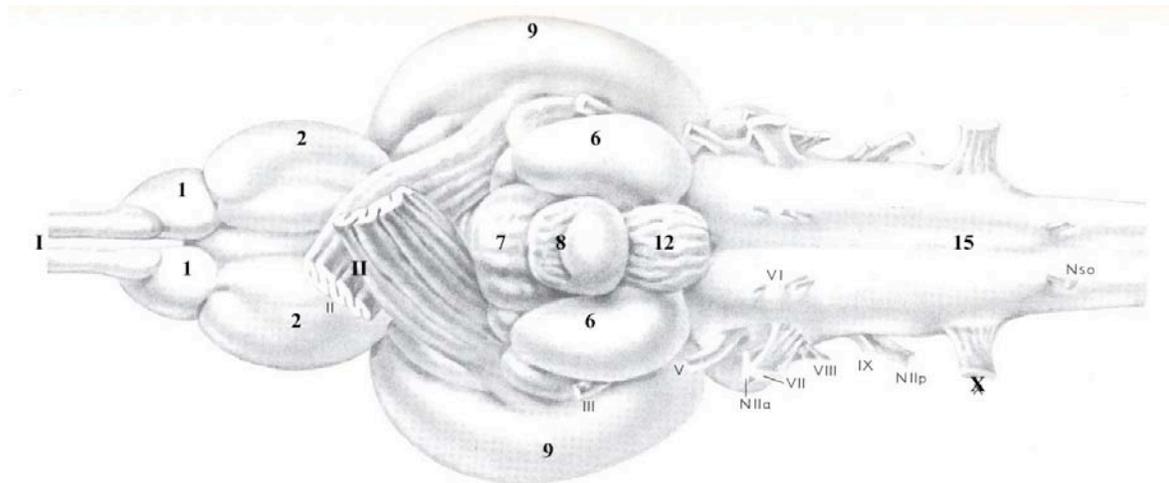


Figura 4.- Vista Ventral del Cerebro de *Salmo gairdneri*, donde: I nervio olfatorio; II nervio óptico; III nervio oculomotor; V nervio trigémino; VI nervio abductor; VII nervio facial; VIII nervio octavo; NIIa nervio de línea lateral anterior; NIIp nervio línea lateral posterior; IX nervio glosofaríngeo; X nervio vago; Nso nervio espino-occipital.; 1 bulbo olfatorio; 2 telencéfalo; 6 lóbulos inferiores; 7 hipotálamo; 8 hipófisis; 9 lóbulos ópticos (tectum mesencefálico); 12 *saccus vasculosus*; 15 médula oblongada (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

El cerebelo es una estructura impar que se encuentra en la línea mediodorsal justo caudal a los lóbulos ópticos, la porción terminal caudal del cerebelo son las hábeas que se proyectan dorsalmente sobre el cuarto ventrículo; lateralmente el cerebelo está rodeado por los lóbulos auriculares que se proyectan parcialmente dentro del cuarto ventrículo, la terminación craneal del cerebelo se proyecta hacia delante y entre los lóbulos ópticos formando la válvula cerebelo (Chiasson, 1980), en la porción caudolateral del ventrículo está la zona óptica que se llaman *torus semicircularis* (figura 6); y se relaciona con las funciones del sistema de la línea lateral así como las aurículas, estas últimas también relacionadas con el oído interno (Kotrschal et. al.,1998).

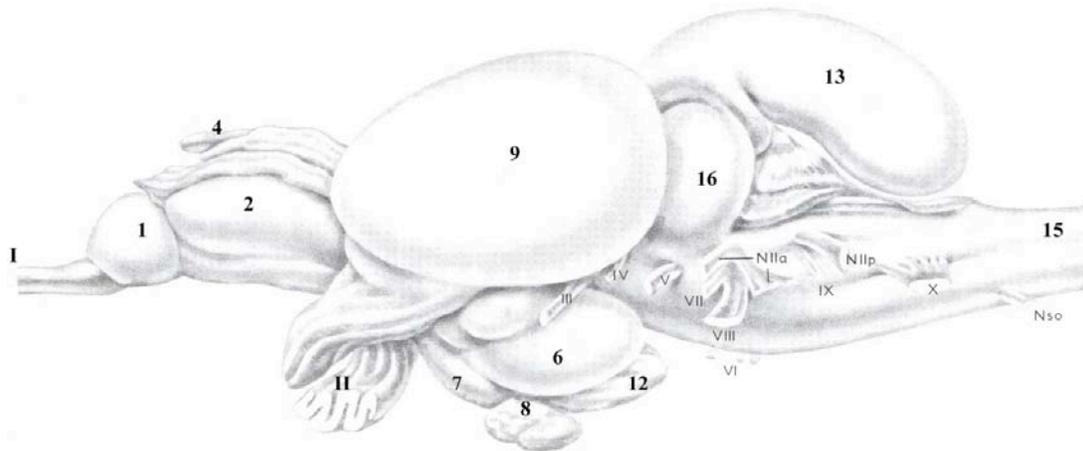


Figura 5.- Vista Lateral del Cerebro de *Salmo gairdneri*, donde: I nervio olfatorio; II nervio óptico; III nervio oculomotor; IV nervio trocléar; V nervio trigémimo; VI nervio abductor; VII nervio facial; VIII nervio octavo; NIIa nervio línea lateral anterior; NIIp nervio línea lateral posterior; IX nervio glosofaríngeo; X nervio vago; Nso nervio espino-occipital; 1 bulbo olfatorio; 2 telencéfalo; 4 epífnis (órgano pineal); 6 lóbulo inferior; 7 hipotálamo; 8 hipófisis (glándula pituitaria); 9 lóbulos ópticos (tectum mesencefálico); 12 *sacculus vasculosus*; 13 cerebelo; 15 médula oblongada; 16 eminencia granular (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

El cerebelo varía en extensión desde pequeño, semejante al de anfibios, relacionado al ancestro o peces sedentarios bentónicos, a una prominente en muchos teleosteos modernos. Aunque relativamente grande en tiburones pelágicos o teleosteos de maniobra veloz, no se considera una característica necesaria para un estilo de vida pelágico (Kotrschal et. al.,1998).

La válvula cerebelosa, se proyecta dentro del piso caudal entre los ventrículos ópticos (Chiasson, 1980), se presenta como una continuación del cerebelo que va desde la porción caudal hacia la rostral por debajo del tectum óptico, se conectan íntimamente con el corpus cerebeloso y parecen jugar un papel en la orientación espacial, propiocepción, coordinación motora y movimientos oculares (Kotrschal et. al.,1998). El área acústica central forma una zona granulosa en la superficie cerebelosa ventral y varía en tamaño con el desarrollo periférico del oído. Las señales del oído interno y de las fibras de la línea lateral terminan en la eminencia granular, un área parvocelular sobre ambos lados del corpus lateral. La cresta cerebelosa caudal y su continuación con la capa molecular del corpus, procesan principalmente señales de la línea lateral (Northcutt y Davis, 1983).

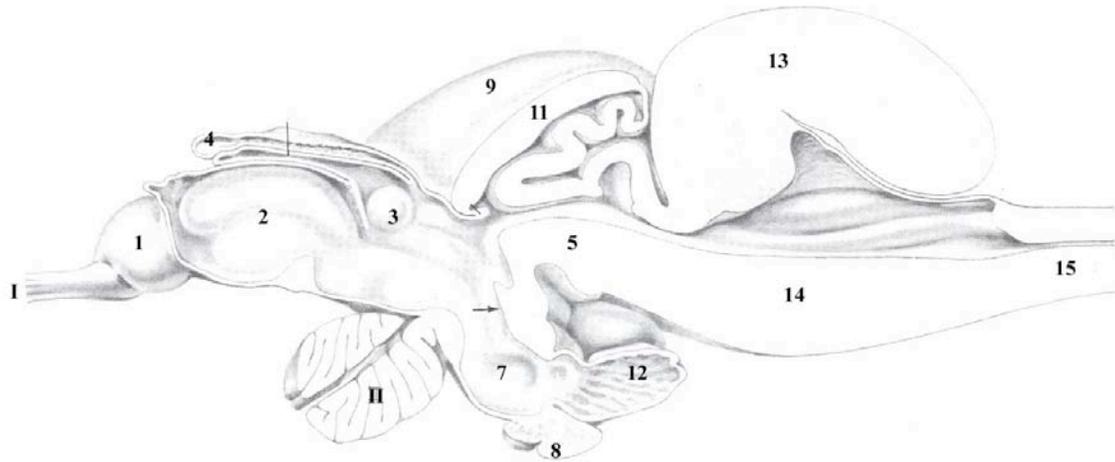


Figura 6.- Vista Sagital del Cerebro de *Salmo gairdneri*, donde: I nervio olfatorio; II nervio óptico; III nervio oculomotor; IV nervio trocléar; V nervio trigémino; VI nervio abductor; VII nervio facial; VIII nervio octavo; NIIa nervio línea lateral anterior; NIIp nervio línea lateral posterior; IX nervio glossofaríngeo; X nervio vago; Nso nervio espino-occipital; 1 bulbo olfatorio; 2 telencéfalo; 3 habénula; 4 epífisis (órgano pineal); 5 tegmentum mesencefálico; 7 hipotálamo; 8 hipófisis (glándula pituitaria); 9 lóbulos ópticos (tectum mesencefálico); 11 *torus longitudinalis*; 12 *saccus vasculosus*; 13 cerebelo; 14 tegmentum romboencefálico; 15 médula oblongada (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

Surgiendo del techo mesencefálico, el tectum óptico consiste de un par de estructuras que son los hemisferios dorsales, separados del tegmentum por los espacios ventriculares. Esta estructura, expone láminas muy evidentes en la sección transversal que reciben proyecciones desde las células retinianas ganglionares contralaterales y participa en la importante comunicación bidireccional con el tallo cerebral. El desarrollo tectal varía estrechamente con una variedad de estructuras visuales periféricas, encontrándose presente en peces ontogenéticamente o filogenéticamente ciegos (Meek y Nieuwenhuys, 1998). Como en todos los vertebrados la visión de los teleósteos se realiza mediante dos ojos donde los conos y los bastones retinianos son elementos sensoriales muy sensibles a la luz. Los ojos de los teleósteos son básicamente similares a los de otros vertebrados con una compleja red retiniana (Meek y Nieuwenhuys, 1998). La retina se presenta como una extensión del diencéfalo, y hay una gran variabilidad dentro de un marco filogenético, ontogenético, ecológico o de estilo de vida (Kotrschal et. al.,1998). Por delante de los

lóbulos ópticos, el torus longitudinalis se extiende en el ventrículo subtectal como un par de cilindros longitudinales. Sus presuntas funciones incluyen control de la postura, detección de niveles de iluminación, verificación de los movimientos circadianos, también tiene un papel como un centro promotor entre telencéfalo y el tallo cerebral (Willimann, 1994).

El telencéfalo proviene de la porción más rostral del tubo neural embrionario formando dos hemisferios (Kotrschal et. al., 1998). Los hemisferios son sólidos, y con ventrículo en forma de T que separa las dos mitades hasta la superficie dorsolateral. Centralmente, los dos hemisferios están muy cercanos, tanto que pueden llegar a estar estrechamente unidos o fusionados. Además las fibras olfatorias secundarias que terminan a lo largo de la estructura completa, virtualmente todas las modalidades sensoriales proyectan a su porción dorsal mediante la vía lemniscal e hipotálmica así como el aporte olfativo primario se recibe en el cerebro ventral anterior (Kotrschal et. al.,1998).

La porción posterior también contiene la comisura anterior con un pedúnculo donde los tractos de fibras se decusan para un flujo bidireccional de información entre telencéfalo y diencefalo, así como también fibras intratelencéfálicas, a peces que se les a extirpado el cerebro anterior (telencéfalo y diencefalo) se alimentan crecen y se comportan normalmente en la mayoría de los casos, pero exhiben una disminución significativa en los niveles de aprendizaje y presentan incapacidad para desarrollar tareas sociales complejas (Rooney y Laming, 1998).

Los bulbos olfatorios de los peces son evaginados, sus ventrículos están secundariamente reducidos o ausentes en los actinopterigios avanzados. Las fibras primarias de la mucosa olfatoria terminan dentro de la estructura glomerular del bulbo olfatorio. Las grandes neuronas de proyección, las células de penacho, proyectan en el telencéfalo y diencefalo por medio de extensiones olfatorias mediales y laterales. En la mayoría de las especies, los bulbos permanecen unidos al telencéfalo rostral pero están unidos a diferentes niveles en algunos grupos de peces (Kotrschal et. al.,1998).

Los pericariones del nervio terminal, se ubican en la unión entre el bulbo olfatorio y el telencéfalo, enviando procesos de la mucosa olfatoria, al diencefalo, y desde luego, a la mayoría de las áreas cerebrales incluyendo la retina (Nieuwenhuys et. al., 1998).

1. 3.- Características Filogenéticas del Cerebro de los Teleósteos.

La diversificación morfológica en los peces es muy alta comparada con otros vertebrados, reconociendo las diferencias en rangos taxonómicos (Jolicoeur et. al., 1984). Lo cual se explica parcialmente por un número potencialmente mayor de modalidades sensoriales en ambientes acuáticos, debido a las propiedades físicas del agua, comparado con las disponibles para animales terrestres, además de los sentidos de la visión olfato y audición, la exposición de los peces a un extenso conjunto de estímulos acuáticos adicionales, han tenido una selección a favor de un sentido mecanosensorial adicional de la línea lateral, patrones diferentes para el gusto externo como son papilas gustativas y células quimiosensoriales solitarias cutáneas; así como una amplia gama de sistemas electrorreceptores. No es sorprendente la variación cerebral, ya que se sabe que las facultades de percepción sensorial, procesamiento central y respuestas del comportamiento, radican, sin lugar a duda, dentro del sistema nervioso central del organismo. Y en el caso de los peces las asociaciones ecológicas y las demandas en el comportamiento han permitido diseñar un cerebro básico adaptable para un gran número de variaciones individuales (Meek y Nieuwenhuys, 1998). Durante la evolución de los peces los componentes periféricos y centrales de sus sistemas nerviosos han florecido en una gran diversidad funcional de estructuras, formas y tamaños. El estudio de dicha diversidad permitió descubrir que los cerebros responden de diferentes formas a los requerimientos de hábitats, ecosistemas y necesidades de comportamiento dispares (Kotrschal, 1998). Dejándonos ver como la ecología y distancias filogenéticas rinden cuentas acerca de la variabilidad cerebral, por ejemplo cuando se comparan el cerebro de un tiburón con el de un teleósteo (Figura 7), los efectos de historia evolutiva predominan, considerando una descendencia anidada, las comparaciones dentro de taxones posteriores Oestariofiseos lo cual resalta el efecto ambiental como la mayor covarianza de la morfología (Kotrschal, 1998).

Como en todos los vertebrados, la función más importante del sistema nervioso central es la coordinación de las interacciones entre el animal y su ambiente. Estas interacciones son causados por músculos y órganos de los sentidos, que están conectados con el sistema nervioso central por los nervios espinales y craneales (Meek y Nieuwenhuys, 1998). Los

movimientos activos y el comportamiento de los animales con respecto a su ambiente se hacen posibles por su sistema osteomioarticular, el cual es controlado por el sistema nervioso central. Los peces que virtualmente carecen de peso en su ambiente acuático, generalmente usan el tronco y músculos de la aleta caudal para generar la fuerza para desplazarse, y las aletas con sus músculos para dirigirse. La musculatura del tronco y de la aleta caudal contienen un borde localizado lateralmente de musculatura roja lenta y una masa central de musculatura blanca rápida (Graaf y Baker, 1990). Especializaciones del sistema muscular de los teleósteos incluyen órganos eléctricos, músculos acústicos (generadores de sonido) y músculos usados para mover las aletas con una especialización sensorial; los órganos eléctricos son en su mayoría músculos modificados, (Bass et. al., 1986). Los músculos acústicos ocurren en una variedad de especies y son tan diversos como los órganos eléctricos, los teleósteos pueden usar desde los músculos de la vejiga natatoria, por ejemplo en *Porichthys*, aletas pectorales, en *Priononatus*, dientes faríngeos (chirido), para generar sonidos (Bass et. al., 1990).

Al igual que otros vertebrados, los teleósteos tienen seis músculos oculares extrínsecos, aductores y abductores de la mandíbula y una variedad de músculos branquiales, que en su caso están involucrados particularmente en movimientos respiratorios del opérculo y arcos faríngeos. También presentan músculos en la vejiga natatoria para regular la tensión de esta, y consecuentemente el peso relativo del cuerpo (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

Los teleósteos también están equipados con órganos de los sentidos olfatorios, visuales, acústico, vestibular y somato-sensorial para recibir señales del medio ambiente. Además ellos cuentan con el sistema de la línea lateral para percibir presión y corrientes de agua, aunque algunos grupos tienen órganos especializados de la línea lateral (Atema et. al. 1988).

El olfato y el gusto están relacionados con las percepciones químicas en teleósteos, ya que ambos pueden extraer información similar acerca de su ambiente. Para este propósito el olfato utiliza la cavidad nasal con su epitelio olfativo inervado por los nervios olfatorio (I) y terminal (0); mientras que el sentido del gusto se vale de las papilas gustativas inervadas por los nervios facial (V), glossofaríngeo (IX) y vago (X). Generalmente se habla de que el olfato de los teleósteos se usa para la comunicación interspecífica (feromonal). (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

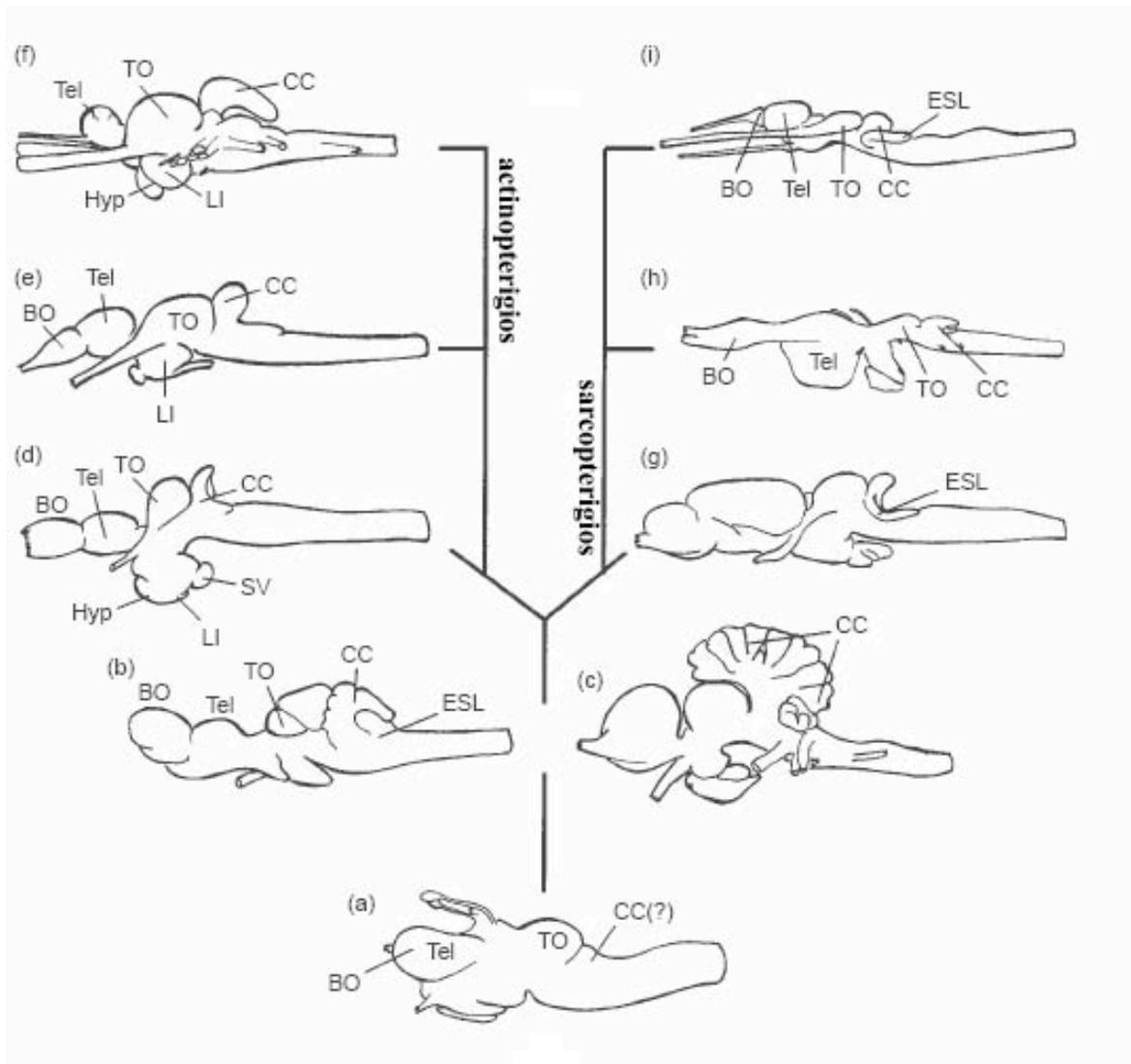


Figura 7: Cerebros representativos que muestran la variación entre los principales grupos taxonómicos de peces. Cerebro anterior evaginado en la lamprea (a) *Petromyzon*; en elasmobranquios (b) *Acanthias*, (c) *Cetorhinus*; en peces pulmonados (h) *Ceratodus* y celacanto, (i) *Latimeria*, pero evertido en la línea de los actinopterygios, tales como el bichirs (g) *Calamoichthys*; los esturiones (d) *Acipenser*, y los neopterygios (e) *Amia*, (f) *Gadus*. BO, bulbo olfatorio; CC, cuerpo cerebeloso; ESL, lóbulo electro-sensorial; Hyp, hipófisis; LI, lóbulo inferior; SV, Saco vasculoso; Tel, telencéfalo; A, Tectum óptico. Los dibujos no están a escala. (Kotrschal et. al., 1998)

Las condiciones visuales para las diferentes especies de teleósteos pueden variar dependiendo de la profundidad y turbidez del agua, (Meek y Nieuwenhuys, 1998), y la importancia de la visión comparada con otros sentidos puede variar grandemente, desde los peces de las cuevas que son completamente ciegos hasta otras especies que son especialistas visuales con ojos muy grandes tal como el salmón verdadero *Salmo*, (Graaf y Baker, 1990). Se ha demostrado que una gran variedad de peces puede detectar la luz polarizada y usar esta capacidad para orientarse. Algunos peces tienen un sistema de cromatóforo en la piel, que usan para camuflaje (Saidel, 1988), o para generar señales visuales de relevancia social, (Demski, 1992) debido a este crisol de características no ahondaremos más sobre la visión en el presente trabajo.

El oído interno de los teleósteos consiste de saculo, utrículo, lagena y tres canales semicirculares, con cóclea reducida. El sáculo y la lagena favorecen las funciones acústicas, mientras que el utrículo y los canales semicirculares ayudan a las funciones estáticas, sin embargo hay funciones que coinciden parcialmente con las funciones de la línea lateral en los teleósteos, el oído detecta campos lejanos, ondas de presión de altas frecuencias y el sistema de la línea lateral tiene la función de sintonizar la información cercana, corrientes y cambios de presión de baja frecuencia, así como de distancias intermedias (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

El sistema de la línea lateral en teleósteos también presenta un gran número de variaciones en su distribución, diferenciación y funciones. Básicamente, los teleósteos tienen 3 canales en la cabeza y un canal principal par de la línea lateral, con órganos especializados, pero existe gran variabilidad entre las especies. Además los canales de la línea lateral y sus órganos de los sentidos, los teleósteos también tienen neuromastos libres en la superficie de su cuerpo envueltos en la mecanorrecepción (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

Algunos teleósteos no solo presentan mecanorreceptores la línea lateral, sino también electrorreceptores. Estos tienen forma de ampula cuando están sintonizados para eventos eléctricos de baja frecuencia en el ambiente; y presentan una forma tuberosa si están sintonizadas para descargas de altas frecuencias producidas por órganos eléctricos (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

La notable diversidad funcional y especializaciones tanto sensoriales como motoras esta ampliamente distribuida a lo largo de las diferentes radiaciones de los teleósteos sin una

clara correlación. Asumiendo generalmente, que las especializaciones evolucionaron independientemente durante las diferentes radiaciones filogenéticas de los teleósteos (Meek y Nieuwenhuys, 1998).

No es sorprendente la prominente variación cerebral que refleja esta riqueza de mecanismos sensitivos comparado con cualquier otro grupo, por ejemplo los mamíferos, la estructura cerebral en peces es más probable que este relacionada con la solución de una variedad de limitaciones espaciales y de desarrollo. En los peces, donde la neurogénesis continua en la mayor parte de su vida, la alometría podría explicar los cambios en la morfología cerebral a lo largo de toda su vida (Brandstätter y Kotschal, 1990)

Al igual que la variedad de especies en el curso de la evolución, los componentes periféricos y centrales de los sistemas nerviosos han florecido en una diversidad funcional de estructuras, forma y tamaños que rivalizan con otros órganos. Esto es actualmente campo para dos asignaturas con enfoques muy interesantes, la neurobiología evolutiva y ecomorfología que tienen como objetivo principal dar a conocer si, y en que manera, los cerebros reflejan la orientación sensitiva, potencialidad cognitiva y capacidades motoras (Klingenberg, 1998).

Con base en la morfología se llegan a alcanzar algunas conclusiones sobre la orientación sensorial debido a que el enfoque actual descansa en la suposición de que el tamaño relativo de los órganos periféricos se relacionan directamente con los centros cerebrales con los cuales se conectan, y que ambos son una medida de la importancia relativa de una facultad sensitiva particular en la orientación sensorial del individuo, la etapa en su ciclo vital o la especie. La literatura disponible indica que estas suposiciones son verdaderas, particularmente cuando se analizan grupos estrechamente relacionados (Jolicoeur et. al., 1984; Ridet y Brauchot, 1990a, b; Kotschal y Palzenberger, 1992; Van Staaden et. al., 1995). Se sabe que los cambios en la demanda predominante altera el número y tamaños de elementos involucrados así como su conectividad (Kotschal y Junger, 1988; Huber y Rylander, 1992), haciendo del tamaño relativo de las áreas cerebrales un predictor confiable de la importancia relativa de su orientación sensorial (Kotschal y Palzenberger, 1992).

La ecomorfología cuantitativa comparada (Motta y Kotschal, 1992) de los cerebros descansa en la medida de las regiones cerebrales de un número de especies estrechamente

relacionadas o externas, o de secciones histológicas (Kotrschal y Palzenberger, 1992). Los tamaños absolutos pueden entonces compararse entre individuos y especies con diferentes tamaños corporales utilizando diferentes técnicas (Sneath y Sokal, 1973).

Estos cambios de las proporciones o del tiempo de los procesos del desarrollo pueden producir alteraciones en la trayectoria del crecimiento en el subespacio de los caracteres morfológicos que son del reino de la alometría (Kotrschal et. al., 1998).

1. 4.- Alometría

La alometría es una disciplina que estudia la relación entre el desarrollo y la evolución. La alometría es un fenómeno que implica que una estructura, porción orgánica, u otro aspecto cuantitativo del organismo cuya proporción, (sobre una medida de referencia tal como la talla corporal, peso, volumen, altura, o cualquier otra) varía entre diferentes individuos. El término se aplica también a la disciplina que lo trata. Por ello implica proporción, comparación de dos tamaños (o magnitudes físicas o fisiológicas similares, no temporales); o sea, es una regla de proporcionalidad (Gershenowies, 2007).

Existen varios tipos de alometría:

Desde el punto de vista del material que se compara:

- a) Estática: Se comparan individuos diferentes, de la misma edad o igual fase de desarrollo. La cual a su vez se puede dividir en dos subtipos:
 - a₁) Interespecífica: Los individuos que se comparan, frecuentemente son adultos, en mismo estado de desarrollo, pero pertenece a diferentes especies (Gershenowies, 2007).
 - a₂) Intraespecífica: Los individuos que se comparan, frecuentemente son adultos, en mismo estado de desarrollo, pero pertenece a la misma especie (Gershenowies, 2007).
- b) Ontogenética: Se comparan los caracteres medidos en el mismo individuo en diferentes momentos de su desarrollo, o si ello no es posible, diferentes sujetos de la misma especie que se encuentren en las distintas etapas de desarrollo (Gershenowies, 2007).
- c) Filogenética: Se comparan los caracteres medidos en distintos individuo que formas series filéticas de preferencia en el mismo estado de desarrollo de

preferencia adultos, incluyendo tanto individuos fósiles como actuales (Gershenowies, 2007).

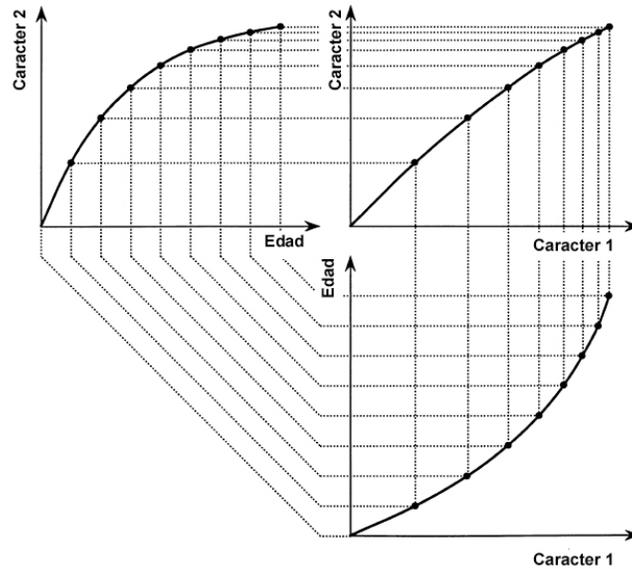


Figura 8. Se puede observar la relación entre las curvas alométrica y de crecimiento. Los análisis de la alometría describen la ontogenia de un organismo como una vía a través de un espacio multidimensional definido por la edad y las características morfológicas, ejemplificados aquí por las medidas de dos características. Una curva de crecimiento (arriba y a la izquierda) es una proyección de este espacio hacia el plano definido por la edad y una característica medida, explícitamente caracteriza la dinámica del crecimiento de esa característica. La gráfica alométrica (arriba a la derecha) es una proyección hacia el plano definido por las dos características medidas. Aunque es resultado de sus curvas de crecimiento, la gráfica alométrica sólo involucra indirectamente al tiempo, por la proporción en la cual el organismo “se adelanta” a lo largo de la trayectoria ontogénica, visualizando aquí por las distancias entre puntos trazados a los intervalos iguales de tiempo. Transformando las variables morfométricas (por ejemplo utilizando logaritmos) puede dar a menudo una gráfica alométrica lineal. (Klingenberg, 1998).

El concepto de alometría, tiene varios significados y múltiples aproximaciones metodológicas existen para su análisis. Todos tienen en común en que la alometría trata de la variación de un carácter asociado con la variación de otro carácter que representa la totalidad del patrón morfofisiológico de la especie. Los caracteres pueden ser el tamaño de

las porciones orgánicas, su forma, o características fisiológicas, ecológicas y conductuales, pero el rango de caracteres considerados difiere entre los distintos conceptos de alometría (Gerszenowies, 2007).

La alometría no incluye explícitamente la variable tiempo en el análisis. En este contexto, el dominio de la alometría es completamente morfofisiológico, y las medidas conciernen al tamaño, forma y a la función. La dinámica temporal del crecimiento entra indirectamente en el análisis de la alometría ontogénica, porque las curvas de crecimiento determinan el valor de cada medida morfofisiológica para cada edad (figura 8) (Gerszenowies, 2007).

Para el estudio de este tipo de fenómenos como son los que relacionan a la ontogenia y la evolución ya que están íntima y recíprocamente interrelacionadas, esto debido a que los cambios evolutivos en los caracteres morfológicos requieren cambios en los procesos del desarrollo que producen las estructuras cuya variación, a su vez, proporciona la materia básica de la evolución por selección natural (Gerszenowies, 2007).

1. 5.- Biología de *Chirostoma humboldtianum* (Figura 9).

Para el desarrollo del proyecto se tomó como modelo de estudio al charal *Chirostoma humboldtianum* por la importancia tanto económica, como alimenticia que tiene y que es una especie típica mexicana, (De la Vega, 2003); se hace interesante realizar estudios que nos permitan conocer más acerca de la biología del pez, así como de sus hábitos lo cual se busca este reflejado en el cerebro del charal y en sus órganos sensoriales.

1. 5. 1.- Género *Chirostoma*

Pertenece a la familia Atherinidae, son peces dulceacuícolas, endémicos mexicanos, este género *Chirostoma* se encuentra constituido por 18 especies y 6 subespecies, de las cuales *Chirostoma compressum* esta extinta (De la Vega, 2003; Barbour, 1966b, Beltrán, 1982).

El género *Chirostoma* se divide en dos grupos de especies, sobre la base de características merísticas y morfología de las escamas. El grupo *jordani* tiende a presentar un número mayor de valores merísticos, escamas lacinadas con canales en la línea lateral (caracteres derivados); el grupo *arge* tiene números menores de valores merísticos, bordes de las escamas lisos y poros en la línea lateral (caracteres primitivos) (Palacios, 1998).

Se ha reportado al género *Chirostoma* como característico de la ictiofauna mexicana, su distribución esta restringida a la región meridional de la meseta mexicana (Hocutt y Wiley, 1985).

A los peces de este género se les conoce como charal, del tarasco *charare*, aunque a algunas especies grandes de charal también se les conoce como pescado blanco. El dorso es de color o azulado, grisáceo o verdoso (dependiendo la especie), y el vientre es blanquecino. Algunas especies son translúcidas. Una característica importante de este género es la presencia en los costados del cuerpo de una banda longitudinal plateada (Torres y Orozco, 1991).

Entre las especies del género se encuentran: *Chirostoma estor* “Pescado blanco”, *Chirostoma granducole* (Rojas, 1970), “charal blanco”, *Chirostoma patzcuaro* “charal pinto”, *Chirostoma attenuatum* “charal prieto” y *Chirostoma humboldtianum* “charal grande” (Barbour, 1966a). Las especies de este género, son un alimento tradicional y muy nutritivo en México desde la época prehispánica (Borrego 2001).

1. 5. 2.- Descripción de *Chirostoma humboldtianum*

Chirostoma humboldtianum en la edad adulta tiene una longitud aproximada de 20 a 25 cm; cuerpo moderadamente alargado con una ligera depresión; hocico romo o subtriangular, con la mandíbula superior un poco curva en su parte media; la mandíbula inferior proyectada un poco hacia delante de la superior; dientes pequeños, en bandas, ocasionalmente 2 a 3 en el vomer, escamas de la línea lateral acanaladas y lanceoladas en el margen; escamas predorsales moderadamente sobrepuestas; aleta pectoral corta, ligeramente punteada. Tiene de 43 a 47 escamas medio laterales y de 24 a 50 escamas predorsales; de 19 a 50 espinas branquiales; la distancia desde el hocico hasta el origen de la aleta pélvica es de 40.9 a 51.2 por ciento con respecto a la longitud cefálica postorbital es de 12.2 a 16.8 por ciento; la de los ojos 4.6 a 7.8 por ciento (Barbour, 1966b), no posee línea lateral (Torre y Orozco, 1991) .



Figura 9.- Fotografía de *Chirostoma humboldtianum*

1. 5. 3.- Clasificación taxonómica

El taxón *Chirostoma humboldtianum* fue descrito por Valenciennes en 1835 como *Atherina humboldtiana*, (Basiónimo: *Atherina vomerina* Valenciennes 1835:481), pero poco después fue cambiado de posición taxonómica y utilizado como especie tipo del género por Swaison en 1839 (Paulo et. al. 2000). La clasificación actual de acuerdo con Nelson en 1994 es la siguiente:

Phylum Chordata

Subphylum Vertebrata (Craniana)

Superclase Gnathostomata

Clase Actinopterygii

Subclase Neopterygii

División Teleostei

Subdivisión Euteleostei

Superorden Acanthopterygii

Orden Atheriniformes

Suborden Atherinoidei

Familia Atherinidae

Subfamilia Menidiinae

Tribu Menidiini

Género *Chirostoma*

Especie *humboldtianum*

El holotipo (ZMB1885) se ubica en el Museo Zoológico de Berlín y fue colectado en el Valle de México (Paulo et. al., 2000)

Al igual que otros miembros de la familia Atherinidae, *Chirostoma humboldtianum* ha tenido problemas de delimitación taxonómica, por ello, se le ha reconocido con diferentes nombres a lo largo de su historia (Paulo et. al. 2000). Sus sinónimos han sido:

<i>Chirostoma humboldtianum</i>	Von Bayern & Steindachner 1895:522
<i>Atherinichthys humboldtii</i>	Günther 1861:404
<i>Atherina fontinalis</i>	Cházari 1884:80
<i>Chirostoma humboldtiana</i>	Seurat 1898:26
<i>Chirostoma breve</i>	Regan 1906-08:59 (en parte)
<i>Chirostoma regani</i>	Jordan & hubbs 1919:74
<i>Chirostoma bartoni bartonin</i>	De Buen 1941:7 (en parte)
<i>Chirostoma Bartoni</i>	De Buen 1943:214 (en parte)
<i>Esloparum regani</i>	De Buen 1945:509, 1946b:114
<i>Chirostoma ocampoi</i>	Álvarez 1963:197

(Paulo et. al. 2000), se ha reportado a la especie *Chirostoma humboldtiannum* como endémica de la ictiofauna mexicana (Barbour, 1973).

1. 5. 4.- Distribución Geográfica

En nuestro país se presentan tres modelos de distribución de peces que incluyen las regiones neártica y neotropical y una intermedia que se conoce como la zona de transición mexicana (De Buen, 1945). El charal *Chirostoma humboldtianum* pertenece a la región neártica, en la subdivisión que corresponde al sistema Lerma-Santiago, que abarca la cuenca del río Lerma, ligada a la cuenca de México (De la Vega, 2003), desde los lagos interiores del Valle de México como Xochimilco, Chimalhuacán, Texcoco y Tláhuac, laguna de Trinidad Fabela, Huapango (De la Cruz, 1985), Danxhó y Tepuxtepec (Alaye, 1988); ligado también a la cadena de lagos que forman Cuitzeo, Pátzcuaro, Zirahuén y Chapalala laguna de Zacapu y otros lagos y lagunas próximos menos extensos (De la Vega, 2003), como lagunas de Juanacatlán en Jalisco, Santa María y San Pedro Lagunillas en Nayarit (Soto, 1953); y continua hasta el Océano Pacífico por toda la cuenca del río Santiago (De la Vega, 2003), posteriormente fue introducido por el hombre en Tiacaque, Toluca Estado de México, donde se agoto por la sobreexplotación. Alaye, en 1988 menciona la existencia de *Chirostoma humboldtianum* en Pátzcuaro Michoacán, producto

quizá de una introducción involuntaria como sucedió en los embalses Villa Victoria México, el Bosque Michoacán, ubicados en la cuenca del río Balsas (Borrego, 2001).

1. 5. 5.- Aspectos Biológicos

a) Alimentación

La especie *Chirostoma humboldtianum* es carnívora se alimenta sustancialmente de zooplancton (Navarrete y Cházaro, 1997). Su alimentación la realiza en las horas de luz, dado que es un animal que utiliza la vista para localizar a sus presas (Moncayo, 1996), en el embalse Tiacaque presentó una dieta de diez grupos alimentarios: Cladóceros 65.7 %, anfípodos 21.06 %, copépodos calanoideos 4.12 %, ciclopoideos 3.03 %, dípteros 2.51 %, coleópteros 1.34 %, hemípteros 1.3 %, peces 0.71 % y rotíferos 0.16 % (Fuentes, 2000). Analizando el tubo digestivo de esta especie también se reportan restos vegetales, granos de polen de las familias compuestas y gramíneas, materia orgánica así como ninfas y adultos de insectos de las familias belostomidos y algunos dípteros (Gamez, 1984).

b) Reproducción

En cuanto a su reproducción *Chirostoma humboldtianum* desova en las orillas de los cuerpos de agua a poca profundidad sobre algas filamentosas entre las raíces de los sauces o en las piedras. La reproducción puede ocurrir durante gran parte del año, esto depende del sitio donde se encuentre, en el embalse Tiacaque se encuentran dos picos de reproducción uno se alcanza hacia la primavera y otro en verano, aunque en invierno se han encontrado organismos sexualmente maduros pero no se reproducían (Aguilar, 1993), y en el embalse Huapango, también en el estado de México, se encontró que la época de madurez gonádica es amplia, observándose la mayor reproducción en los meses de marzo a agosto lo que concuerda con el embalse Tiacaque, (Flores, 1985). La reproducción bajo condiciones de laboratorio es factible de hacerse por desoves manuales y fibras de plástico monofilamento de color amarillo como sustrato para los huevos. El desove se lleva a cabo tanto en cardumen como en parejas individuales (Figueroa et. al., 1999).

Considerando las tallas de reclutamiento reproductivo y fecundidad, se observan variaciones con respecto al sitio. Para Tiacaque la talla mínima fue 57mm en ambos sexos, su fecundidad fue de entre 2024 y 17758 óvulos (Aguilar, 1993); y para Huapango fue la talla mínima de 84mm machos y 96 hembras, y la fecundidad máxima fue de 19489 óvulos (Flores, 1985).

c) Crecimiento

La longitud promedio alcanzada por cada sexo en cada unidad de tiempo es diferente, observándose que cuando los machos alcanzan su longitud máxima que es de 173.6 mm las hembras no han dejado de crecer hasta su talla final que es de 197.71 mm, lo cual sugiere que en esta especie se presenta el dimorfismo sexual en la talla. Las ecuaciones de crecimiento para ambos sexos siguen el modelo de Von Bertalanffi, y son:

$$\text{Hembras Longitud total} = 197.71 (1 - e^{-0.107 (t+0.593)}) \text{ (Flores, 1985)}^1,$$

$$\text{Machos Longitud total} = 173.60 - e^{-0.159 (t+0.791)} \text{ (Téllez, 1983)}^1,$$

Aguilar en 1993 determinó para esta especie cuatro clases de edad en el embalse Tiacaque, se obtuvieron cuatro curvas de crecimiento una para cada temporada del año:

$$\text{Longitud total} = 25.1400(1 - e^{-0.17778 (t + 0.1821)}) \text{ primavera}$$

$$\text{Longitud total} = 15.3143(1 - e^{-0.3364 (t + 0.2510)}) \text{ verano}$$

$$\text{Longitud total} = 24.1550(1 - e^{-0.2032 (t - 0.2239)}) \text{ otoño}$$

$$\text{Longitud total} = 16.0581(1 - e^{-0.2869 (t - 0.1447)}) \text{ invierno}$$

Se obtuvo la ecuación de la relación de peso y longitud mediante el modelo potencial de Diller (Aguilar 1993):

$$\text{Peso} = 0.01170 L^{2.8993} \quad \text{Donde } L = \text{Longitud patrón dada en milímetros}$$

d) Clases de edad

Mediante el análisis de histogramas de longitud-frecuencia, se determinó la secuencia modal de crecimiento en forma bimestral, identificando la cohorte con lo cual se ajustaron los valores para obtener las siguientes clases de edad (Flores, 1985):

Clase de edad	Longitud promedio en mm.
I	33
II	43
III	65.5
IV	78
V	88

La estimación de la Longitud se obtuvo por el método gráfico de Ford-Walford, al aplicarlo se obtuvo que la Longitud (L_{∞}) = 200 mm, y la regresión (Flores, 1985):

¹ Nota : La longitud esta dada en milímetros.

$$y = 19.02 + 0.9038 x \quad (r = 0.9572)$$

Donde:

$$x = L(t) \quad y = L(t + 1)$$

Con los mismos datos se hizo el cálculo de las constantes del modelo de crecimiento de Von-Bertalanffy, haciendo el ajuste respectivo, mediante una regresión (Flores, 1985):

$$k = 0.107$$

$$T_0 = 0.593$$

e) Ecología

La especie *Chirostoma humboldtianum* habita muy cerca de la superficie, en la zona francamente limnética (Moncayo, 1996). Se puede encontrar en cuerpos de agua del alto Lerma que se ubican entre los 2170 y 2552 m. s. n. m. a temperaturas que van de 12° C en noviembre a 25° C en junio, presentando valores de transparencia con un máximo para febrero de 35 cm y el mínimo en junio con 20 cm; las cantidades de oxígeno disuelto son de entre 5.8 mg/L como mínima en agosto, a una máxima 15.5 mg/L en junio y en marzo se determinó una concentración de 6.0 mg/L y en enero 7.0 mg/L (Flores, 1985); así como un pH de 7.5 a 8.2. Los sólidos suspendidos de estos cuerpos de agua van de 0 a 360 UFT. Con una concentración de sulfatos de 14 a 26 p.p.m., los nitratos de 0 a 4.4 mg/l y los fosfatos de 1.1 a 1.58mg/l (Chávez-Toledo, 1987). En la laguna de Zacapu que se encuentra en el bajo Lerma, vive a temperatura de 6° C a 18° C, con una concentración de oxígeno de entre 2.23 y 8.6 mg/l y en un pH de 7 a 8 (Medina, 1993).

f) Impacto Antropogénico

La cultura mexicana conocía a los charales con el nombre de “Amilotl” o “Xalmichin” (pez en la arena), y lo utilizaban para la alimentación (Ocampo, 1981)., en la actualidad a *Chirostoma humboldtianum* se le conoce como charal de Xochimilco, Charal de aleta corta o Short fin silverside (Martín del Campo, 1955, Sierra y Sierra, 1977), y al cultivo del pez se le conoce como atherinicultura la cual procura explotar diversas especies de la familia *Atherinidae* con fines de repoblación y explotación (Pérez, 1982). Los charales son muy nutritivos y su consumo está arraigado en diversas comunidades principalmente rurales. Se preparan ya sea secos, salados, tostados, empanizados, fritos o bien cocidos, también al vapor en hojas de maíz (Torres y Orozco, 1991). El pez está caracterizado por tolerar poco

los grados de contaminación que ahora hay en los canales de Xochimilco uno de los lugares de donde es originario, por tal motivo hace algún tiempo se busco sembrar la especie en otros cuerpos de agua, pero se observa que al trasladarlo su sobrevivencia es muy baja (Aguilar, 1993), por lo que se considera corre peligro; uno de los lugares donde la introducción de la especie fue exitosa es el embalse San Felipe Tiacaque donde las personas del lugar y municipios aledaños lo pescan y han sobre explotado para consumo propio y para venta a turistas, en la actualidad a la especie ya no se le encuentra en ese sitio debido a que no se respetaron los tiempos de recuperación y reproducción de la especie así como debido a la sobreexplotación, aunque en la actualidad la especie es criada en algunos otros lugares como granjas (comentario personal de habitantes del lugar).

1. 6.- Lugar de Colecta del “charal” *Chirostoma humboldtianum*.

El embalse San Felipe Tiacaque se localiza en el municipio de Ixtlahuaca, en Toluca estado de México (Figura 11); pertenece a la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, incluida en la provincia del eje neovolcánico, y a la subprovincia de lagos y volcanes del Anáhuac (CETENAL, 1978). Esta ubicado entre los 99° 42.15” de longitud Oeste y a los 19° 41.16” latitud Norte, a una altitud de 1534 metros sobre el nivel del mar. El clima de esta región, corresponde al más seco de entre los templados (i(wi) (w) b(i)g), con lluvias en verano. La temperatura media mensual máxima es de 17.4° C entre los meses de abril, mayo y junio. La temperatura media mensual es superior a 14.2° C y la temperatura máxima promedio es de 28.7° C. La precipitación total anual es de 760 mm., presentándose el máximo en julio con 175.8 mm. La zona forestal en la región corresponde a la provincia templada, en la cual se encuentra encino, palo blanco, madroño, entre otros (CETENAL, 1974)

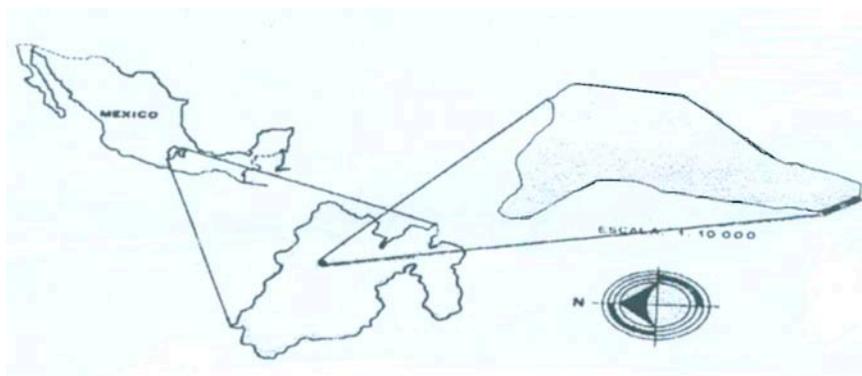


Figura 10.- Mapa que muestra la ubicación de Toluca estado de México, ahí se localiza el municipio de Tiacaque, sitio de colecta del “charal” de especie *Chirostoma humboldtianum* (Borrego, 2001).

1. 6. 1.- Breve historia orográfica e hidrológica del Sistema Lerma-Santiago.

México cuenta con gran número de cuerpos de agua; se calcula que existen cerca de setenta lagos, y los más importantes son los de la zona occidental del Eje Neovolcánico Transversal asociados al sistema Lerma-Santiago, esta cuenca debido a su situación geográfica en el centro del país y su extensión que es de 125 370 km² se aprecia como una de las más importantes ya que abarca amplias porciones del Estado de México, norte de Michoacán, sureste de Querétaro, sur de los estados de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, Durango y Nayarit (De la Vega, 2003).

Los peces son muy representativos en su zoogeografía, ya que son incapaces de escapar de los sistemas de las cuencas en que se hallan confinados. Sólo pueden dispersarse cuando ocurren cambios fisiográficos o anastomosis de ríos, de tal manera que en general conservan los viejos modelos de distribución (De la Vega, 2003).

Esto se confirma con el patrón de distribución regional de los peces de la familia Atherinidae la cual está restringida a la región meridional de la meseta central (Hocutt y Wiley, 1985); en esta misma familia se presentaron algunos invasores marinos del género *Chirostoma*, que son los primeros fósiles conocidos y provienen de la formación de Chapala, del Plioceno (De la Vega, 2003).

Antecedentes

Wright (1858)

Publicó un libro en donde pretende correlacionar la anatomía del cerebro y los órganos de los sentidos con el comportamiento de los peces. Sin embargo su lenguaje resulta confuso dado que les atribuye emociones, motivos humanos. Pero concluye que el cerebro regula el comportamiento de los peces.

Chandler (1911)

Reportó y describió histológicamente una estructura linfoide que encontró sobre el mielencéfalo del pez *Lepisosteus osseus*, y de la cual no había antecedente, concluyó que era una estructura linfoide tipo glándula que cubre el mielencéfalo del pez y esta asociada a la cubierta del 4° ventrículo, la forma y tamaño son relativamente constantes.

Hubbert (1915)

Realizó una investigación sobre el efecto de la edad en la capacidad de aprendizaje de la rata albina, concluyó que los individuos de diferentes edades mostraron marcadas diferencias en su actividad los jóvenes aprenden más rápido que los mayores, el tiempo de ejecución de las tareas aumenta conforme aumenta la edad.

Herrich y Crosby (1918)

Realizaron un manual de neurología con información que recabaron durante 20 años anteriores de trabajo en disecciones del sistema nervioso del pez perro (*Syllium catulus*), el cerebro de la oveja y centro auditivo, olfatorio, óptico, piramidal y localización cortical, e incluyó información del cerebro humano. Finalmente buscaron dar una visión clara acerca de la fisiología de los impulsos nerviosos corticales y reflejos del sistema nervioso.

Sholl (1947)

Propuso un método para la estimación de parámetros en la ecuación alométrica, discutió la teoría de Dubois-Lapique-Brummelkamp, concluyó que dicha teoría era insostenible, sobre el ajuste de las curvas de datos biológicos faltaba equivalencia entre una forma que contiene parámetros exponenciales y su transformación logarítmica; sin embargo el concepto alométrico puede ser aplicado al cerebro.

Cadwallader (1975)

Realizó un estudio con *Galaxias vulgaris*, pez que cambia de nichos ecológicos a lo largo de su vida, comparo los cambios del tamaño relativo de la parte dorsal de cerebro anterior, lóbulos ópticos y cerebelo de especímenes de diferentes tamaños y busco establecer las modalidades sensoriales dominantes en cada estadio, relacionando los resultados a sus hábitos y hábitat; buscó inferir la ecología de *Galaxias maculatus* y *Neochanna burrowsius*, 2 especies de galaxidos cuya ecología era menos conocida. Concluyó que el ambiente contribuye a cambiar el tamaño relativo de ciertas áreas cerebrales.

Gamez (1984)

Realizó un estudio sobre la alimentación una población de *Chirostoma humboldtianum* del embalse Huapango del Estado de México, concluyó que la alimentación es básicamente zooplanctónica variando sólo por la selectividad que cada talla ejerce.

Flores (1985)

Realizó un estudio anual sobre la biología reproductiva de las hembras de la población de *Chirostoma humboldtianum* del embalse Huapango del Estado de México, concluyó que se dio una reproducción alta de marzo a agosto; de septiembre a noviembre un período de recuperación fisiológica y en enero inició la madurez gonádica.

Deacon, (1990a)

Publicó una crítica a los estudios donde se relaciona la evolución del cerebro y el aumento del tamaño directamente al aumento de la inteligencia, concluye que muchos cambios estructurales que se cree demuestran la progresión de la estructura cerebral desde las formas primitivas a las avanzadas son resultado de procesos alométricos, y el aumento de tamaño cerebral resulta tener algunas desventajas funcionales no apreciadas previamente.

Deacon, (1990b)

Publicó un artículo sobre el inconveniente de las ambigüedades de conceptos fundamentales como: tendencias alométricas cerebro/cuerpo, cefalización adulta, la relación conservadora entre las fases de crecimiento pre y postnatal, desigualdad taxonómica de diferentes patrones de crecimiento ontogenético. Concluye que la cefalización humana exhibe una transformación ontogenética no encontrada en otro grupo de mamíferos.

Aguilar (1993)

Realizó un estudio acerca de la biología de *Chirostoma, humboldtianum* en el embalse San Felipe Tiacaque, concluyó que el crecimiento y la supervivencia de la especie se relacionaron a los parámetros ambientales y a su estrategia de fecundidad que es alta.

Espinosa y sus colaboradores (1993)

Público un artículo sobre la situación de los peces en el territorio mexicano, concluyó que es necesario aumentar el número de estudios sobre la biodiversidad y la biología de las especies.

Nilsson (1996)

Estudio el consumo de O₂ del pez *Gnathonemus petersii* que triplica el de cualquier otro vertebrado y presenta un cerebro con un tamaño relativo muy grande, llega a la conclusión de que el gasto de O₂ se debió al gran tamaño del cerebro que le brindó ciertas ventajas en el medio ambiente y que si el nivel de O₂ es muy bajo el pez toma O₂ de la superficie del agua.

Moncayo (1996)

Estudio la estructura de la comunidad de la laguna de Zacapú en Michoacán, observó cual fue la función de los integrantes de esta ,concluyó con respecto a *Chirostoma humboldtianum* que se presentó como un carnívoro importante de zooplancton y su alimentación la realizó en horas luz localizando visualmente a sus presas.

Klingenberg (1998)

Publicó un artículo sobre heterocronía y alometría en el análisis del cambio evolutivo en la ontogenia, concluyó que hay a conflictos que se resuelven examinando la base lógica de las aproximaciones de las diferentes investigaciones y los significados en condiciones particulares; y tanto alometría como heterocronía han sido estructuras primarias para

estudiar la ontogenia en la biología evolutiva por lo que son partes integrales de la síntesis emergente de la biología evolutiva y del desarrollo.

Kotrschal y sus colaboradores (1998)

Realizaron una revisión bibliográfica muy completa sobre el sistema nervioso central de los peces dirigiéndolo a buscar las condiciones ecológicas y evolutivas que promueven la diversificación de los diferentes grupos filéticos principalmente teleósteos, la relación que hay entre el hábitat y la importancia relativa de las facultades sensoriales, concluyeron que los órganos como línea lateral y audición son importantes en especies epipelágicas y mesopelágicas, el gusto, la visión y el tamaño cerebral se reducen en muchas especies batipelágicas, en hábitats bentónicos los quimiosentidos aumentaron en importancia y en ambientes turbios la visión se redujo; en hábitats someros tropicales y arrecifes las capacidades visuales aumentaron y parece que ejercieron presión de selección a favor del incremento del telencéfalo no olfativo, y el desarrollo de habilidades cognitivas parece estuvo asociado a la orientación visual y hábitats bien estructurados.

Ishikawa y sus colaboradores (1999)

En su estudio del cerebro de *Oryzias latipes*, pez con diferencias fenotípicas intraespecíficas, concluyeron que de los diferentes genotipos resultaron variaciones significativas entre los encéfalos de cada una de las variantes y que buena parte de la variabilidad cerebral en los peces teleósteos se ha dado por variabilidad genética, enfatizando que también se presente el componente ambiental en dicha variación.

Gayon (2000)

Realizó una revisión sobre el concepto de alometría, concluyó que Gould trató de definir el significado apropiado de la alometría en la estructura de la teoría sintética de la evolución.

Fuentes (2000)

Estudió el efecto trófico de *Chirostoma humboldtianum* en el embalse Tiacaque (México), concluyó que su dieta se basa de diez grupos alimentarios, presentándose como carnívoro básicamente de zooplancton.

Paulo y sus colaboradores (2000)

Realizaron una base de datos bibliográficos de *Chirostoma humboldtianum* como parte la información de una red regional de recursos bióticos, concluyeron que el pez es un recurso biótico muy valioso.

Borrego (2001)

Comparó la estructura de los esqueletos de *Chirostoma humboldtianum* (Osteichthyes: Atherinidae) y *Atherinella balsana* (Pisces: Atherinidae) ambos colectados en el embalse San Felipe Tiacaque, concluyó que no hay diferencias significativas en las estructuras, excepto en su porción caudal la cual propone como carácter diagnóstico.

De la Vega (2003)

Publicó un artículo sobre la situación de los peces dulceacuícolas en México, concluyó que el impacto antropogénico afectó negativamente las poblaciones silvestres por lo que propuso que los cuerpos de agua se contemplaran en estrategias de conservación donde se protegiera la calidad del agua y del hábitat.

Eastman y Lannoo (2003)

Estudiaron histológica y anatómicamente el cerebro del pez *Dolloidraco longedorsalis* sus órganos de los sentidos y barbilla, compararon la arquitectura cerebral con especies cercanas a dicho pez, discutiendo el papel de la paedomorfosis en la producción de morfologías simplificadas del cerebro, concluyeron que las características neuronales especiales de *Dolloidraco longedorsalis* se pueden atribuir a una posición más derivada de la especie en la filogenia y sugirieron que la barbilla atrae y detecta las presas.

Marchettia y Nevitt (2003)

Estudiaron la morfología cerebral del salmón *Oncorhynchus mykiss* contrastaron organismos de vida silvestre contra los de piscicultivo, concluyeron que los cerebros de los peces en ambiente pobre como es el de cautiverio son sensiblemente más pequeños que los de su contraparte silvestre siendo las estructuras cerebrales más influenciadas el tectum óptico y el telencéfalo.

Mukuda y Ando (2003)

Realizaron el atlas completo del cerebro de la anguila japonesa, todas las descripciones se refirieron y compararon con otros ya reportados de otros teleósteos como salmón arcoiris, pez cebra, pez dorado, mújol gris, pez gato, llegando a la conclusión que la topología básica de su cerebro es muy parecido al del salmón arcoiris, el pez cebra y el pez dorado y el pez gato; sólo difiere en algunos detalles.

Chandroo y colaboradores (2004)

Evaluaron la información científica sobre anatomía, fisiología y comportamiento de los peces que evidenciara la existencia de sensibilidad en peces para experimentar miedo, estrés psicológico y sufrimiento, concluyeron que los peces presentaron estructuras dopaminérgicas y límbicas funcionales y homologas a las de los tetrápodos.

West y sus colaboradores (2004)

Hicieron una crítica a modelos que consideraron descripciones matemáticas de trayectorias de crecimiento, concluyeron que su modelo dio una base para entender las características fundamentales y generales que gobiernan el crecimiento ontogénico, aunque no era aplicable en historia de vida y crecimiento a muchos organismos.

Lema y sus colaboradores (2005)

Describieron zonas de proliferación neuronal en el telencéfalo del salmón (*Oncorhynchus kisutch*) y exploraron si la actividad mitótica estaba relacionada a parámetros ambientales, concluyeron que las condiciones ambientales y los cambios asociados a la actividad de nado o estructura social pudo influenciar las tasas de proliferación celular en el telencéfalo.

Niven (2005)

Realizo una revisión de artículos donde se evidenciaba que algunos cerebros mamíferos tendían a la reducción evolutiva del tamaño, haciendo énfasis en la importancia de las presiones de selección sobre la evolución del cerebro mamífero, concluyo que las presiones evolutivas afectaron el tamaño relativo cerebral.

Van den Burg y sus colaboradores (2005)

Hicieron un estudio sobre respuesta cerebral a fluctuaciones de temperatura en peces por medio de resonancia magnética, concluyeron que durante estos cambios la baja en la temperatura del medio ambiente influyo en que se de una disminución del volumen sanguíneo cerebral que evito el congelamiento y se inició una respuesta de estrés del cuerpo completo.

Kihslinger y Nevitt (2006)

Estudiaron el impacto del ambiente de piscicultura temprana en el crecimiento cerebral en el juvenil de un salmón, concluyeron que los ambientes influyeron sobre la morfología cerebral en la misma escala en la que se le ha atribuido a la selección natural.

Gersenowies (2007)

Publicó un libro sobre alometría, abordó el problema de las inconsistencias entre los diferentes métodos analíticos aplicados al estudio alométrico presentando el estado actual y las problemáticas del análisis alométrico univariado, la publicación contó con 4 puntos básicos: primero una breve revisión del desarrollo histórico del concepto de alometría, segundo la introducción de los principios básicos de las leyes de escala, el análisis dimensional y las aplicaciones más importantes, tercero define que es la alometría, delimita las principales escuelas relacionadas con el análisis alométrico y deduce las ecuaciones fundamentales discutiendo su problemática inherente, cuarto presento el método de análisis alométrico más utilizado por los biólogos acompañado por algunos problemas para ejemplificar la aplicación con distintos objetivos.

González-Quiroz y sus colaboradores (2007)

Plantearon un análisis del ciclo celular de neuronas cerebrales como índice de crecimiento en larvas del bacalao (*Gadus mohrua*) en diferentes condiciones de alimento y temperatura, observaron el porcentaje de división neuronal cerebral de larvas y como se modificó; concluyeron que el desarrollo cerebral se ve afectado por las condiciones del medio ambiente.

Healy y Rowe (2007)

Hicieron una revisión de estudios comparativos del tamaño cerebral de vertebrados de los últimos 25 años, de alrededor de 50 análisis comparativos de variables ecológicas y sociales que intentaron explicar la variación del tamaño cerebral total o una parte de este, entre especies de vertebrados. Concluyeron que muchos estudios contenían datos que no eran adecuados para los análisis en que eran incluidos y que con la información recabada de los trabajos realizados se podía establecer o justificar los resultados con datos de manipulaciones experimentales.

Pollen y sus colaboradores (2007)

Estudiaron como se modificó el cerebro de 7 especies de cíclidos de origen monofilético, sus diferentes preferencias de hábitat y organización social, concluyeron que se presentó una amplia variación en las estructuras cerebrales entre las diferentes especies y que los factores sociales y ambientales afectaron diferencialmente siendo estos últimos los que ejercieron una mayor influencia.

3

Objetivos

3. 1.- General

- Establecer la orientación sensitiva de *Chirostoma humboldtianum* derivado de los resultados del análisis alométrico de su cerebro.

3. 2.- Particulares

- Determinar la relación alométrica en los cerebros de los de organismos colectados.
- Obtener una colección de cerebros de pez *Chirostoma humboldtianum*.
- Establecer la tendencia alométrica de *Chirostoma humboldtianum*.
- Determinar la relación entre el cerebro de *Chirostoma humboldtinum* y su hábitat.

4

Método

4. 1.- Materiales

Los materiales con los que se realizó el presente trabajo fueron de dos tipos: los de tipo biológico y los del laboratorio; ambos se describen a continuación:

4. 1. 1.- Biológico

1.- 250 charales de la especie *Chirostoma humboldtianum* de todas las edades excepto alevines.

4. 1. 2.- Laboratorio

- 1.-Estuche de disección completo.
- 2.- Navaja de acero inoxidable de 10 cm.
- 3.- hidróxido de potasio.
- 4.- Formol al 4 %.
- 5.- Vernier.
- 6.- Tubos ependoff pequeños.

4. 2.- Método

4. 2. 1.- Muestreo

Se realizaron una serie de visitas al lugar de colecta, 2 para el verano, 2 para el otoño, 2 para el invierno y 2 para la primavera para tener al final un total de 8 visitas a lo largo del año, al embalse San Felipe Tiacaque, en Toluca Estado de México. Se tomo una muestra al azar de individuos de *Chirostoma humboldtianum*, por medio de un chinchorro de 45 m por 5 m, el cual fue manipulado en cada colecta por 7 personas en promedio, la abertura de luz del chinchorro fue de 5 cm, inmediatamente después de obtenidos los peces se colocaron en una solución de formol al 4% neutralizado con borato de sodio, en el laboratorio se etiquetaron y asigno el número de organismo de forma aleatoria. Posteriormente se obtuvieron los datos morfométricos que se muestran en la figura 11.

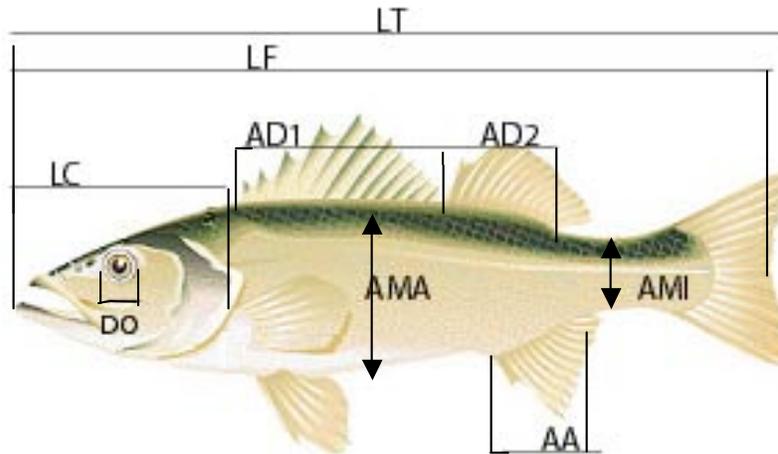


Figura 11.-Esquema que muestra los caracteres morfométricos medidos en los organismos colectados, los datos obtenidos se concentraron en el apéndice 2.

4. 2. 2.- Caracteres morfométricos.

La especie de los organismos se identificó mediante la ayuda de los caracteres morfométricos y con las claves de Álvarez del Villar (1970).

Las medidas morfométricas tomadas en este estudio son las siguientes:

- 1.- LT: Longitud Total: Distancia de la línea media del labio superior a la parte más distal de la aleta caudal.
- 2.-LF: Longitud Furcal: distancia del labio superior a la parte más corta de la aleta caudal.
- 3.- LP: Longitud patrón: distancia de la línea media del labio superior término hipural, este punto se reconoce como el sitio del último dobléz al flexionar la caudal.
- 4.- LC: Longitud cefálica: de la parte media del labio superior al extremo superior del opérculo, generalmente incluye la membrana que suele bordearlo.
- 5.- AD1: Longitud de la base de la aleta dorsal: -: Aleta dorsal1 corresponde a la longitud de la base de la primera aleta dorsal.
- 6.- AD2: Aleta dorsal 2 corresponde a la longitud de la base de la segunda aleta dorsal. distancia entre el punto más delantero y posterior de la base de la aleta dorsal.
- 7.- Diámetro ocular: es la distancia horizontal entre los bordes anterior y posterior del ojo.
- 8.- AMA: Altura Máxima: Es la máxima distancia vertical entre los perfiles dorsal y ventral del cuerpo, no incluye aletas o apéndices.

9.- AMI: Altura Mínima: distancia entre los perfiles dorsal y ventral en el pedúnculo caudal.

10.- AA: Longitud de la base de la aleta anal: distancia entre el punto más delantero y posterior de la base de la aleta anal. (Lagler,1977).

11.- Pez: Se le asigna un número y etiqueta a cada pez, el cual fue de forma aleatoria.

12.- Peso: Es el peso del organismo completo en gramos.

Todas las medidas tomadas a los organismos se concentraron en el apéndice 2 y se representan en la figura 11.

4. 2. 3.- Extracción de los encéfalos

Para la obtención de los encéfalos primero se raspo la piel del cráneo, después de romper el cráneo con tijeras y gubias, después se separó el hueso roto y se llegó al plexocoroideo que se presentan como una delgada capa negra esta estructura se retiró con la ayuda de un pincel húmedo, sólo con pinceladas suaves, después de esto se rompió el resto de huesos del cráneo que protege los encéfalos, ya liberados de hueso, se hizo un corte en la unión de los nervios óptico (II), glosofaríngeo (IX), y vago (X); como paso siguiente se extrajo con mucho cuidado el encéfalo de dicha cavidad con ayuda del pincel húmedo, entonces se secciono a nivel de los nervios raquideos. Los encéfalos obtenidos se colocaron individualmente en tubos ependoff etiquetados previamente con el número de organismo del cual se obtuvieron, y se almacenaron con formol al 4% neutralizado con borato de sodio para su posterior toma de medidas.

4. 2. 4.- Medición de los encéfalos.

Como siguiente paso se midieron las porciones requeridas de los encéfalos con la ayuda de un vernier; dichas porciones son las conocidas como cerebro anterior (longitud del telencéfalo), cerebro medio (longitud del tectum óptico) y cerebro posterior (longitud del cerebelo + longitud de la médula oblongada), como se muestra en la figura 12, estas medidas se concentraron en el apéndice 3.

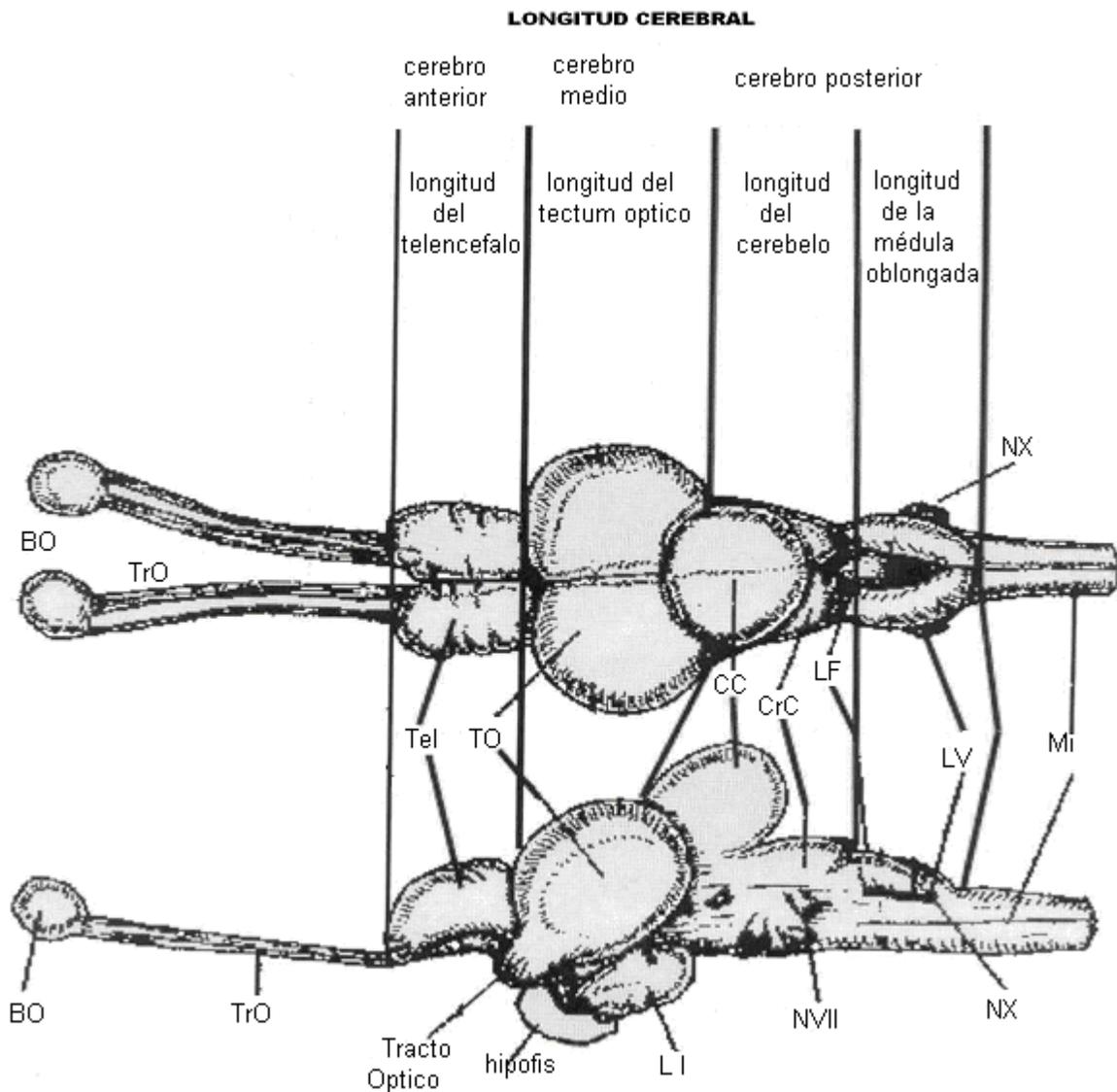


Figura 12.- Encéfalo de *Rutilus rutilus*, (sólo para ejemplificar), donde se muestra como se realizaron las mediciones de los encéfalos, donde BO, bulbo olfatorio; CC, cuerpo cerebeloso; CrC, cresta cerebelosa; LF, lóbulo facial; LI, Lóbulo inferior; Lv, Lóbulo vago; Mi, mielencéfalo; Tel, Telencefalo; TrO, Tracto olfatorio; NVII, Nervio séptimo; NX, Nervio décimo. (Krotchkal 1998), las medidas obtenidas se concentraron en el apéndice 3.

Los valores obtenidos se encuentran en el apéndice 3 y fueron concentrados en una base de datos con el programa excel 2007, que posee la estructura que se muestra en la figura 13.

PEZ	C.A. L	C.A. A.	C.M. L.	C.M. A.	C.P. L.	C.P. A.	LONG. TOT.
3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.9
4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.7
6	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.7
11	0.3	0.3	0.27	0.4	0.2	0.3	0.7
14	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.8
15	0.19	0.22	0.24	0.42	0.2	0.25	0.6
18	0.19	0.2	0.4	0.34	0.2	0.29	0.79
24	0.2	0.19	0.24	0.34	0.21	0.22	0.65
26	0.15	0.12	0.2	0.3	0.18	0.21	0.53
33	0.15	0.15	0.2	0.32	0.19	0.22	0.54
35	0.15	0.2	0.21	0.32	0.2	0.22	0.56
39	0.15	0.19	0.2	0.32	0.2	0.22	0.55
40	0.18	0.2	0.23	0.3	0.21	0.21	0.62
45	0.15	0.2	0.2	0.31	0.19	0.22	0.44
48	0.12	0.19	0.22	0.32	0.19	0.21	0.53
49	0.18	0.15	0.21	0.31	0.21	0.22	0.6
58	0.12	0.12	0.21	0.31	0.2	0.22	0.53
60	0.18	0.18	0.2	0.3	0.16	0.21	0.54
68	0.18	0.2	0.2	0.29	0.18	0.16	0.56
76	0.18	0.18	0.2	0.25	0.12	0.2	0.5
82	0.16	0.15	0.2	0.3	0.15	0.21	0.51
87	0.18	0.18	0.2	0.3	0.18	0.2	0.56
93	0.12	0.15	0.18	0.28	0.15	0.19	0.45
94	0.15	0.15	0.2	0.29	0.15	0.2	0.5
101	0.2	0.2	0.24	0.38	0.2	0.29	0.64
102	0.2	0.16	0.22	0.3	0.2	0.25	0.62
104	0.2	0.18	0.25	0.35	0.2	0.24	0.65
105	0.2	0.2	0.25	0.35	0.2	0.26	0.65
116	0.18	0.22	0.31	0.4	0.26	0.3	0.75
120	0.17	0.18	0.22	0.3	0.18	0.26	0.57
122	0.26	0.21	0.24	0.39	0.23	0.29	0.73

Figura 13.- Ejemplo de la base de datos de las medidas de longitud y ancho de las porciones anterior, media y posterior del encéfalo del charal *Chirostoma humboldtianum*. Donde PEZ corresponde a el número del individuo, C. A. L, Largo Cerebro Anterior; C. A. A., Ancho Cerebro Anterior; C. M. L., Largo Cerebro Medio; C. M. A., Ancho Cerebro Medio; C. P. L., Largo Cerebro Posterior; C. P. A., Ancho Cerebro Posterior; LONG. TOT. Longitud Total del Cerebro. Estas medidas se encuentran concentradas en el apéndice 3.

Posteriormente se obtuvieron los logaritmos naturales con el programa excel 2007 de cada uno de los datos obteniendo los datos contenidos en el apéndice 4, un ejemplo se muestra en la figura 14.

Con estos datos se elaboraron los archivos “*.sta” con el programa statistica ver 6.

Con los archivos “*.sta” se llevo a cabo el análisis de regresión y correlación obteniendo:

- a) La gráfica.
- b) El valor del coeficiente de alometría “ α ”.
- c) El valor del coeficiente de correlación “r”.
- d) La probabilidad de ocurrencia del coeficiente de correlación.

Con los resultados obtenidos se procedió a determinar el tipo de alometría presente, la cual fue la base de la discusión posterior.

PEZ	C.A.L.	C.A.A.	C.M.L.	C.M.A.	C.P.L.	C.P.A.
3	-1.60943791	-1.2039728	-0.91629073	-0.69314718	-1.2039728	-0.91629073
4	-1.60943791	-1.2039728	-1.2039728	-0.91629073	-1.60943791	-1.60943791
6	-1.60943791	-1.60943791	-1.2039728	-0.91629073	-1.60943791	-1.2039728
11	-1.2039728	-1.2039728	-1.30933332	-0.91629073	-1.42711636	-1.13943428
14	-1.60943791	-1.60943791	-1.2039728	-0.91629073	-1.2039728	-1.2039728
15	-1.66073121	-1.51412773	-1.42711636	-0.86750057	-1.60943791	-1.38629436
18	-1.66073121	-1.60943791	-0.91629073	-1.07880966	-1.60943791	-1.23787436
24	-1.60943791	-1.66073121	-1.42711636	-1.07880966	-1.56064775	-1.51412773
26	-1.89711998	-2.1226354	-1.60943791	-1.2039728	-1.71479843	-1.56064775
33	-1.89711998	-1.89711998	-1.60943791	-1.13943428	-1.66073121	-1.51412773
35	-1.89711998	-1.60943791	-1.56064775	-1.13943428	-1.60943791	-1.51412773
39	-1.89711998	-1.66073121	-1.60943791	-1.13943428	-1.60943791	-1.51412773
40	-1.71479843	-1.60943791	-1.42711636	-1.2039728	-1.56064775	-1.56064775
45	-1.89711998	-1.60943791	-1.60943791	-1.17118298	-1.66073121	-1.51412773
48	-2.1226354	-1.66073121	-1.51412773	-1.13943428	-1.66073121	-1.56064775
49	-1.71479843	-1.89711998	-1.56064775	-1.17118298	-1.56064775	-1.51412773
58	-2.1226354	-1.60943791	-1.56064775	-1.17118298	-1.60943791	-1.51412773
60	-1.71479843	-1.71479843	-1.60943791	-1.2039728	-1.83258146	-1.56064775
68	-1.71479843	-1.60943791	-1.60943791	-1.23787436	-1.71479843	-1.83258146
76	-1.71479843	-1.71479843	-1.60943791	-1.42711636	-2.1226354	-1.60943791
82	-1.83258146	-1.89711998	-1.60943791	-1.2039728	-1.89711998	-1.56064775
87	-1.71479843	-1.71479843	-1.60943791	-1.2039728	-1.71479843	-1.60943791
93	-2.1226354	-1.89711998	-1.71479843	-1.27296568	-1.89711998	-1.66073121
94	-1.89711998	-1.89711998	-1.60943791	-1.23787436	-1.89711998	-1.60943791
101	-1.60943791	-1.60943791	-1.42711636	-0.96758403	-1.60943791	-1.23787436
102	-1.60943791	-1.83258146	-1.51412773	-1.2039728	-1.60943791	-1.38629436
104	-1.60943791	-1.71479843	-1.38629436	-1.04982212	-1.60943791	-1.42711636
105	-1.60943791	-1.60943791	-1.38629436	-1.04982212	-1.60943791	-1.34707365
116	-1.71479843	-1.51412773	-1.17118298	-0.91629073	-1.34707365	-1.2039728
120	-1.77195684	-1.71479843	-1.51412773	-1.2039728	-1.71479843	-1.34707365
122	-1.34707365	-1.56064775	-1.42711636	-0.91629073	-1.46967597	-1.23787436

Figura 14.- Ejemplo de la base de datos conteniendo los valores de las medidas de encéfalos en logaritmo natural, en el programa de excel. Donde PEZ corresponde a el número del individuo, C. A. L., Logaritmo Natural de Largo Cerebro Anterior; C. A. A., Logaritmo Natural de Ancho Cerebro Anterior; C. M. L., Logaritmo Natural de Largo Cerebro Medio; C. M. A., Logaritmo Natural de Ancho Cerebro Medio; C. P. L., Logaritmo Natural de Largo Cerebro Posterior; C. P. A., Logaritmo Natural de Ancho Cerebro Posterior; Estas medidas se encuentran concentradas en el apéndice 4.

5

Resultados

De los 250 individuos se logró extraer un total de 42 cerebros, debido a lo delicado de este órgano la mayoría sufrieron rasgaduras y por tal motivo eran desechados ya que necesariamente debían estar completos para hacer las mediciones y tener resultados satisfactorios.

5. 1.- Resultados del Análisis de Regresión y Correlación

5. 1. 1.- De Las Longitudes Cerebrales.

Cuando se realizó el análisis de regresión de la longitud total del pez contra la longitud cerebral anterior se obtuvo la gráfica de la figura 16, en ella podemos observar que la ecuación que describe el comportamiento de los datos es longitud anterior (L. Ant.) = 0.1007 longitud total (L. T.)^{0.3697}, en donde el valor de 0.10007 representa la longitud de la porción cerebral anterior cuando la longitud total = 1. El coeficiente de alometría $\alpha = 0.3697$ el cual es significativamente menor a "1" ($T = 4.0606$ $p < 0.001$), lo que significa que presenta una alometría negativa, es decir que el ritmo de crecimiento del cerebro anterior es menor al ritmo de crecimiento del cuerpo. Con respecto a la validez de la ecuación, el coeficiente de correlación $r = 0.35625$ la cual es muy significativa ($p < 0.008194$), indicándonos que existe correlación, implicando que la ecuación es adecuada para describir la relación entre la longitud total del pez y la longitud cefálica anterior.

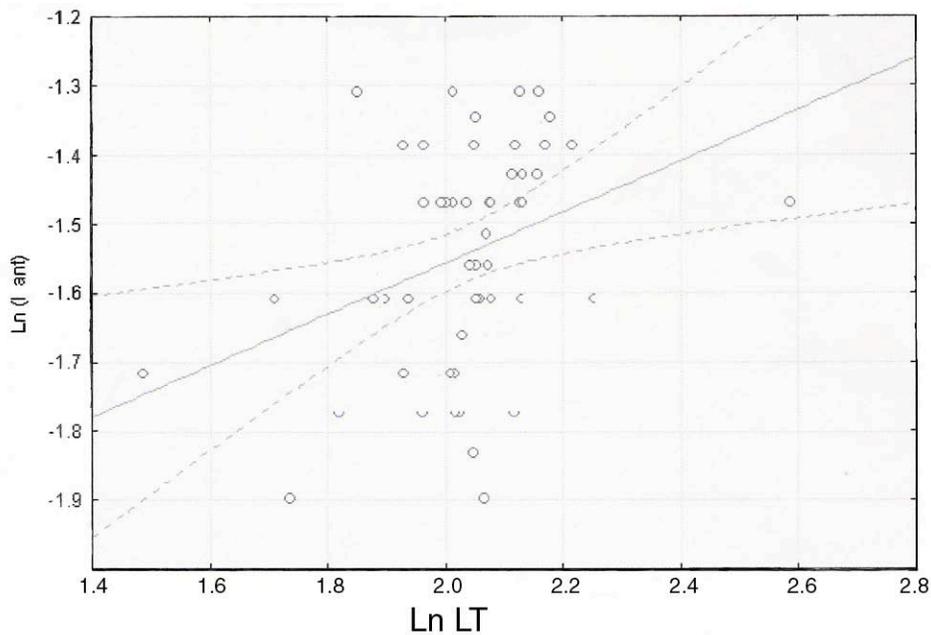


Figura 15 .- Fotografía de la vista dorsal del encéfalo de charal *Chirostoma humboldtianum*, donde de izquierda derecha se localiza cerebro anterior, cerebro medio y cerebro posterior .

a) Longitud total contra longitud cerebral anterior.

$$\text{Ln (L. Ant.)} = -2.296 + 0.36970 * \text{Ln LT}$$

Correlación: $r = 0.35625$ $p < 0.008194$



Alométrico negativo $\alpha = 0.36970 < 1$; $t = 4.0606$ $p < 0.001$;

$$\text{Fórmula: } L. \text{ Ant.} = 0.1007 * LT^{0.36970}$$

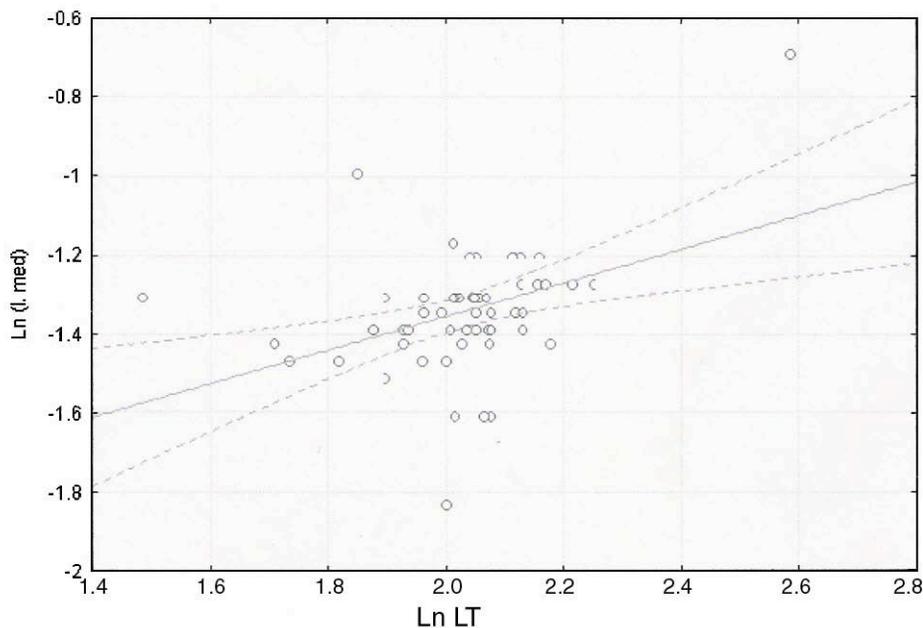
Figura 16.- gráfica 1: Curvas alométricas obtenidas de graficar las medidas obtenidas de los encéfalos del charal *Ch. humboldtianum* valores que fueron convertidos a logaritmo natural (Ln) de la longitud total (LT), contra el logaritmo natural (Ln) de la longitud anterior (Ln. Ant.); donde podemos observar que el coeficiente de correlación $r = 0.35625$ $p < 0.008194$, y el valor alométrico negativo de $\alpha = 0.36970 < 1$; Con la fórmula $L. \text{ Ant.} = 0.10007 * LT^{0.36970}$

Cuando se realizó el análisis de regresión de la longitud total del pez contra la longitud cerebral media se obtuvo la gráfica de la figura 17, en ella podemos observar que la ecuación que describe el comportamiento de los datos es longitud media (L. Med.) = 0.11 longitud total (L. T.)^{0.42575}, en donde el valor de 0.11 representa la longitud de la porción cerebral media cuando la longitud total = 1. El coeficiente de alometría $\alpha = 0.42575$ el cual es significativamente menor a "1" ($T = 3.7539$ $p < 0.001$), lo que significa que presenta una alometría negativa, es decir que el ritmo de crecimiento del cerebro medio es menor al ritmo de crecimiento del cuerpo. Con respecto a la validez de la ecuación, el coeficiente de correlación $r = 0.40696$ la cual es muy significativa ($p < 0.002259$), indicándonos que existe correlación, implicando que la ecuación es adecuada para describir la relación entre la longitud total del pez y la longitud cefálica media.

b) Longitud total contra longitud cerebral media.

$$\text{Ln (L med.)} = 2.207 + 0.42575 * \text{Ln LT}$$

Correlación: $r = 0.4069$ $p < 0.002259$



Alométrico negativo $\alpha = 0.42575 < 1$; $t = 3.7539$ $p < 0.001$;

$$\text{Fórmula: } L. \text{ med.} = 0.11 * LT^{0.42575}$$

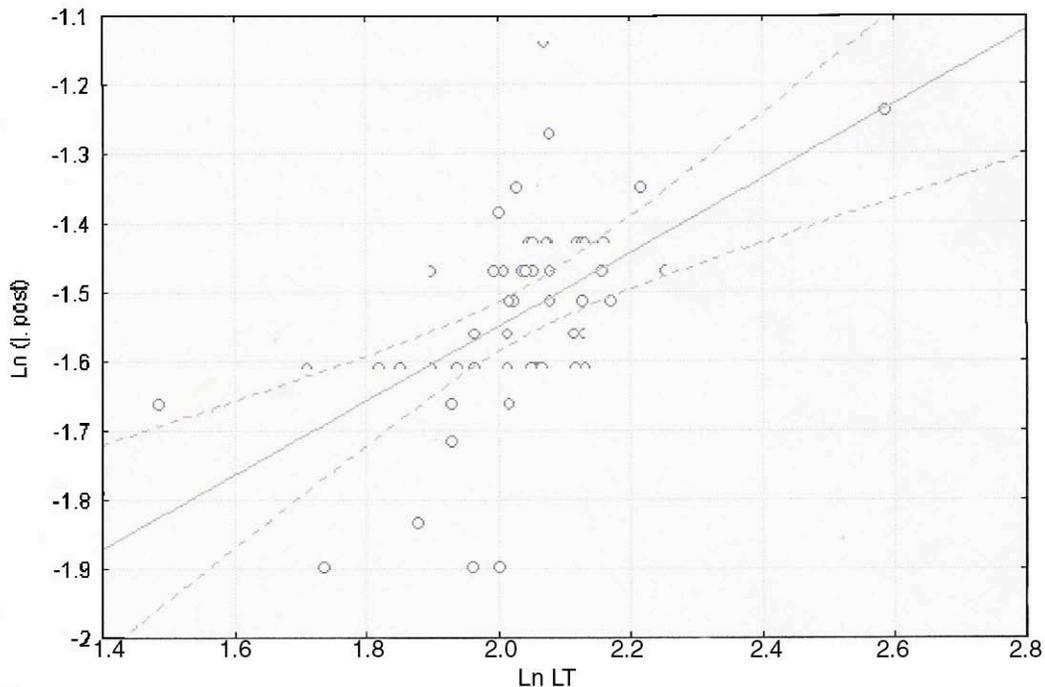
Figura 17.- gráfica 2: Curvas alométricas obtenidas de graficar las medidas obtenidas de los encéfalos del charal *Ch. humboldtianum* valores que fueron convertidos a logaritmo natural (Ln) de la longitud total (LT), contra el logaritmo natural (Ln) de la longitud media (L. med.); donde podemos observar que el coeficiente de correlación $r = 0.40696$ $p < 0.002259$, y el valor alométrico negativo de $\alpha = 0.42575 < 1$; Con la fórmula $L. \text{ med.} = 0.11 * LT^{0.42575}$

Cuando se realizó el análisis de regresión de la longitud total del pez contra la longitud cerebral posterior se obtuvo la gráfica de la figura 18, en ella podemos observar que la ecuación que describe el comportamiento de los datos es longitud posterior (L. Post.) = 0.0729 longitud total (L. T.)^{0.53484}, en donde el valor de 0.0729 representa la longitud de la porción cerebral posterior cuando la longitud total = 1. El coeficiente de alometría $\alpha = 0.53484$ el cual es significativamente menor a “1”(T = 3.4986 p < 0.001), lo que significa que presenta una alometría negativa, es decir que el ritmo de crecimiento del cerebro posterior es menor al ritmo de crecimiento del cuerpo. Con respecto a la validez de la ecuación, el coeficiente de correlación r = 0.54140 la cual es muy significativa (p < 0.000028), indicándonos que existe correlación, implicando que la ecuación es adecuada para describir la relación entre la longitud total del pez y la longitud cefálica posterior.

c) Longitud total contra longitud cerebral posterior

$$\text{Ln (L. Post.)} = -2.619 + 0.53484 * \text{Ln LT}$$

$$\text{Correlación: } r = 0.54140 \text{ p} < 0.000028$$



Alométrico negativo $\alpha = 0.53484 < 1$; $t = 3.4986 \text{ p} < 0.001$;

$$\text{Fórmula: } L. \text{ post.} = 0.0729 * LT^{0.53484}$$

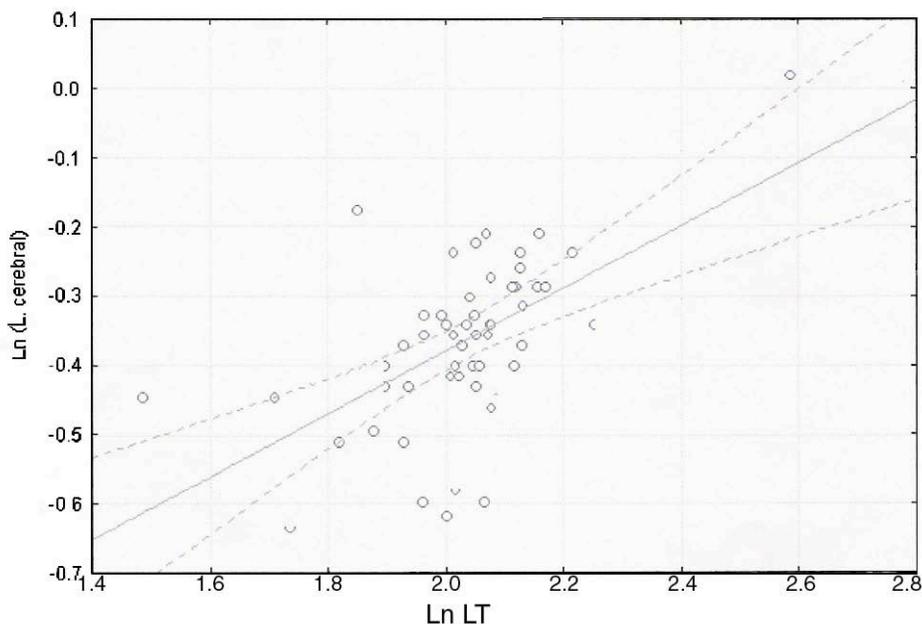
Figura 16.- gráfica 3: Curvas alométricas obtenidas de graficar las medidas obtenidas de los encéfalos del charal *Ch. humboldtianum* valores que fueron convertidos a logaritmo natural (Ln) de la longitud total (LT), contra el logaritmo natural (Ln) de la longitud posterior (L. post.); donde podemos observar que el coeficiente de correlación r = 0.54140 p < 0.000028, y el valor alométrico negativo de $\alpha = 0.53484 < 1$; Con la fórmula L. med. = 0.0729 * LT^{0.53484}

Cuando se realizó el análisis de regresión de la longitud total del pez contra la longitud cerebral total se obtuvo la gráfica de la figura 19, en ella podemos observar que la ecuación que describe el comportamiento de los datos es longitud cerebral total (L. cerebral.) = 0.2767 longitud total (L. T.)^{0.45261}, en donde el valor de 0.2767 representa la longitud de la porción cerebral total cuando la longitud total del pez = 1. El coeficiente de alometría $\alpha = 0.45261$ el cual es significativamente menor a “1”(T = 5.2651 p < 0.001), lo que significa que presenta una alometría negativa, es decir que el ritmo de crecimiento del cerebro es menor al ritmo de crecimiento del cuerpo. Con respecto a la validez de la ecuación, el coeficiente de correlación $r = 0.57175$ la cual es muy significativa (p < 0.000008), indicándonos que existe correlación, implicando que la ecuación es adecuada para describir la relación entre la longitud total del pez y la longitud cerebral total.

d) Longitud total contra longitud cerebral

$$\text{Ln (L. cerebral)} = -1.285 + 0.45261 * \text{Ln LT}$$

$$\text{Correlación: } r = 0.57175 \text{ p} < 0.000008$$



Alométrico negativo $\alpha = 0.45261 < 1$; $t = 5.2651 \text{ p} < 0.001$;

$$\text{Fórmula: } L. \text{ cerebral} = 0.2767 * LT^{0.45261}$$

Figura 19.- gráfica 4: Curvas alométricas obtenidas de graficar las medidas obtenidas de los encéfalos del charal *Ch. humboldtianum* valores que fueron convertidos a logaritmo natural (Ln) de la longitud total (LT), contra el logaritmo natural (Ln) de la longitud cerebral (L. C.); donde podemos observar que el coeficiente de correlación $r = 0.57175 \text{ p} < 0.000008$, y el valor alométrico negativo de $\alpha = 0.45261 < 1$; Con la fórmula $L. \text{ cerebral} = 0.2767 * LT^{0.45261}$

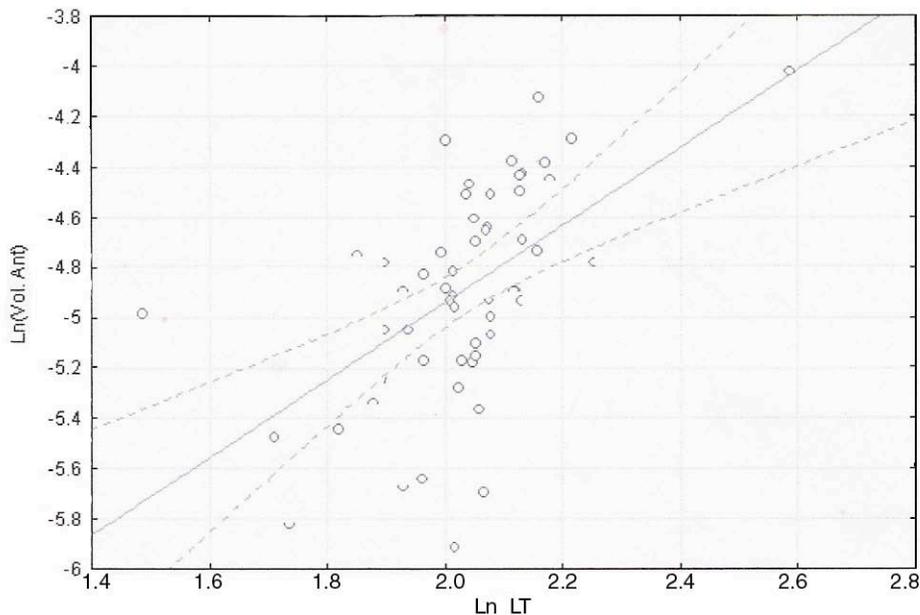
5. 1. 2.- De los Volúmenes Cerebrales.

Cuando se realizó el análisis de regresión de la longitud total del pez contra el volumen cerebral anterior se obtuvo la gráfica de la figura 20, en ella podemos observar que la ecuación que describe el comportamiento de los datos es volumen cerebral anterior (Vol. Ant.) = 0.0003 longitud total (L. T.)^{1.5370}, en donde el valor de 0.0003 representa el volumen de la porción cerebral anterior cuando la longitud total = 1. El coeficiente de alometría $\alpha = 1.5370$ el cual es significativamente menor a “3”(T = 3.9086 p < 0.001), lo que significa que presenta una alometría negativa, es decir que el ritmo de crecimiento del cerebro anterior es menor al ritmo de crecimiento del cuerpo. Con respecto a la validez de la ecuación, el coeficiente de correlación $r = 0.54929$ la cual es muy significativa (p < 0.000017), indicándonos que existe correlación, implicando que la ecuación es adecuada para describir la relación entre la longitud total del pez y el volumen cefálico anterior.

e) Longitud total del pez contra volumen cerebral anterior.

$$\text{Ln (Vol. Ant.)} = -8.014 + 1.5370 * \text{Ln LT}$$

$$\text{Correlación : } r = 0.54929 \text{ p} < 0.000017$$



Alométrico negativo $\alpha = 1.5370 < 3$; $t = 3.9086 \text{ p} < 0.001$;

$$\text{Fórmula: Vol. Ant.} = 0.0003 * \text{LT}^{1.5370}$$

Figura 20.- gráfica 5: Curvas alométricas obtenidas de graficar las medidas obtenidas de los encéfalos del charal *Ch. humboldtianum* valores que fueron convertidos a logaritmo natural (Ln) de la longitud total (LT), contra el logaritmo natural (Ln) de la Volumen Anterior (Vol. ant.); donde podemos observar que el coeficiente de correlación $r = 0.54929 \text{ p} < 0.000017$, y el valor alométrico negativo de $\alpha = 1.5370 < 3$; Con la fórmula $\text{Vol. Ant.} = 0.0003 * \text{LT}^{1.5370}$

Cuando se realizó el análisis de regresión de la longitud total del pez contra el volumen cerebral medio se obtuvo la gráfica de la figura 21, en ella podemos observar que la ecuación que describe el comportamiento de los datos es volumen medio (Vol. Med.) = 0.0016 longitud total (L. T.)^{1.2959}, en donde el valor de 0.0016 representa el volumen de la porción cerebral medio cuando la longitud total del pez = 1. El coeficiente de alometría $\alpha = 1.2959$ el cual es significativamente menor a “3” ($T = 3.4293$ $p < 0.001$), lo que significa que presenta una alometría negativa, es decir que el ritmo de crecimiento del cerebro medio es menor al ritmo de crecimiento del cuerpo. Con respecto a la validez de la ecuación, el coeficiente de correlación $r = .48122$ la cual es muy significativa ($p < 0.000230$), indicándonos que existe correlación, implicando que la ecuación es adecuada para describir la relación entre la longitud total del pez y la volumen cefálico medio.

f) Longitud total contra volumen del cerebro medio.

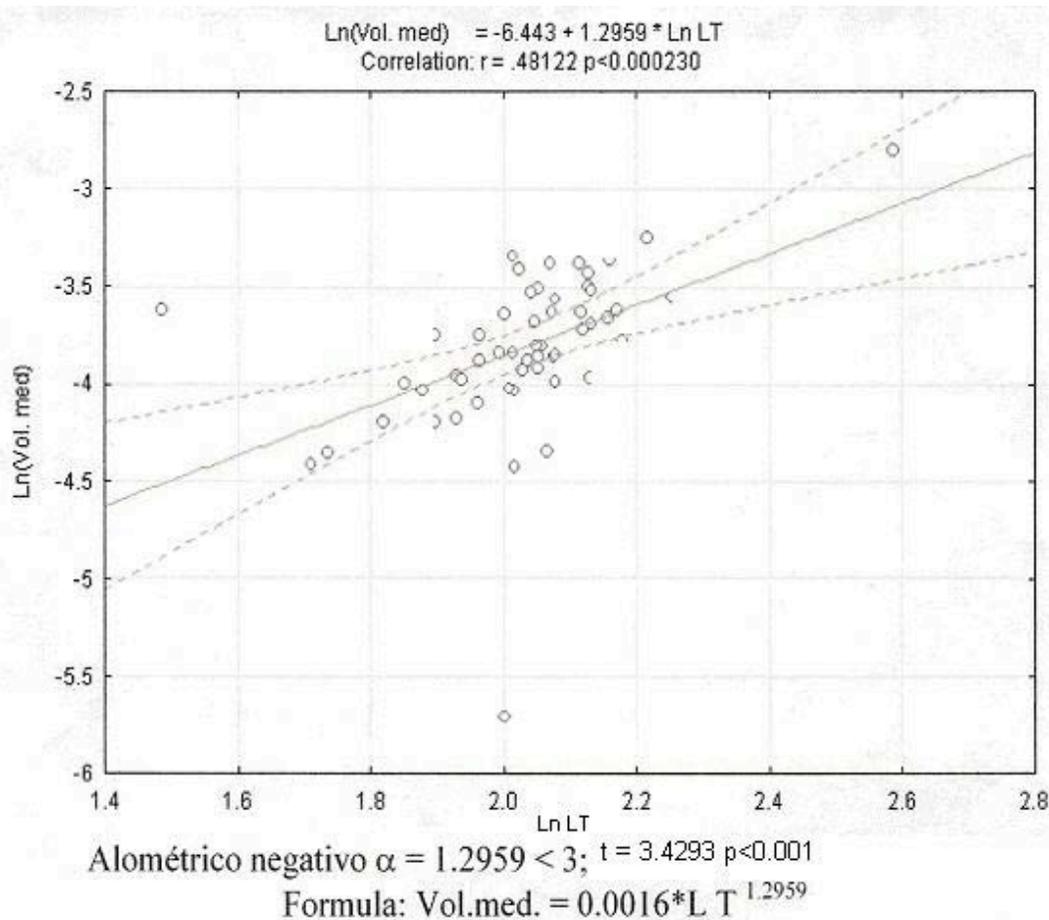


Figura 21.- gráfica 6: Curvas alométricas obtenidas de graficar las medidas obtenidas de los encéfalos del charal *Ch. humboldtianum* valores que fueron convertidos a logaritmo natural (Ln) de la longitud total (LT), contra el logaritmo natural (Ln) de la Volumen medio (Vol. med.); donde podemos observar que el coeficiente de correlación $r = 0.48122$ $p < 0.000230$, y el valor alométrico negativo de $\alpha = 1.2959 < 3$; Con la fórmula Vol. med. = 0.0016 * L T^{1.2959}

Cuando se realizó el análisis de regresión de la longitud total del pez contra el volumen cerebral posterior se obtuvo la gráfica de la figura 22, en ella podemos observar que la ecuación que describe el comportamiento de los datos es volumen posterior (Vol. Post.) = 0.0004 longitud total (L. T.)^{1.7433}, en donde el valor de 0.0004 representa la el volumen cerebral posterior cuando la longitud total = 1. El coeficiente de alometría $\alpha = 1.7433$ el cual es significativamente menor a “3”(T = 3.6825 p < 0.001), lo que significa que presenta una alometría negativa, es decir que el ritmo de crecimiento del cerebro posterior es menor al ritmo de crecimiento del cuerpo. Con respecto a la validez de la ecuación, el coeficiente de correlación $r = 0.63303$ la cual es muy significativa (p < 0.0000001), indicándonos que existe correlación, implicando que la ecuación es adecuada para describir la relación entre la longitud total del pez y la longitud cefálica anterior.

g) Longitud total contra volumen del cerebro posterior.

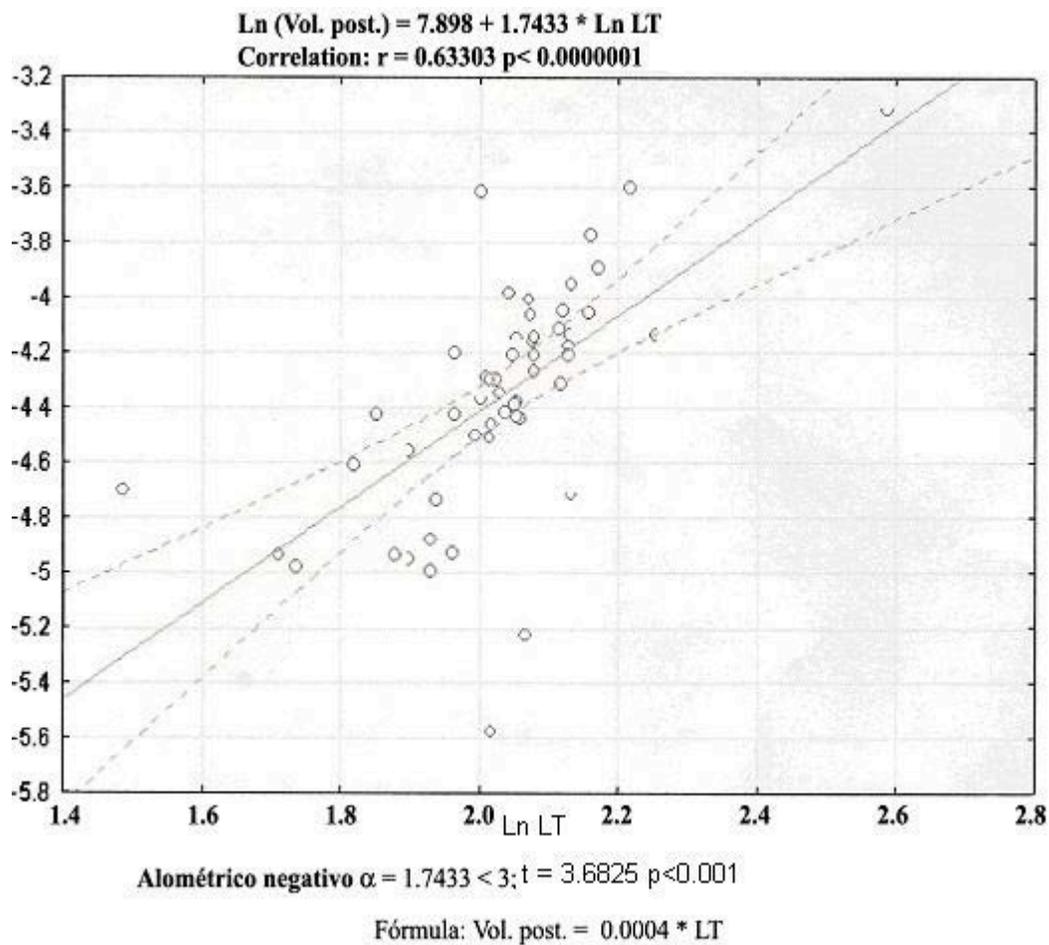
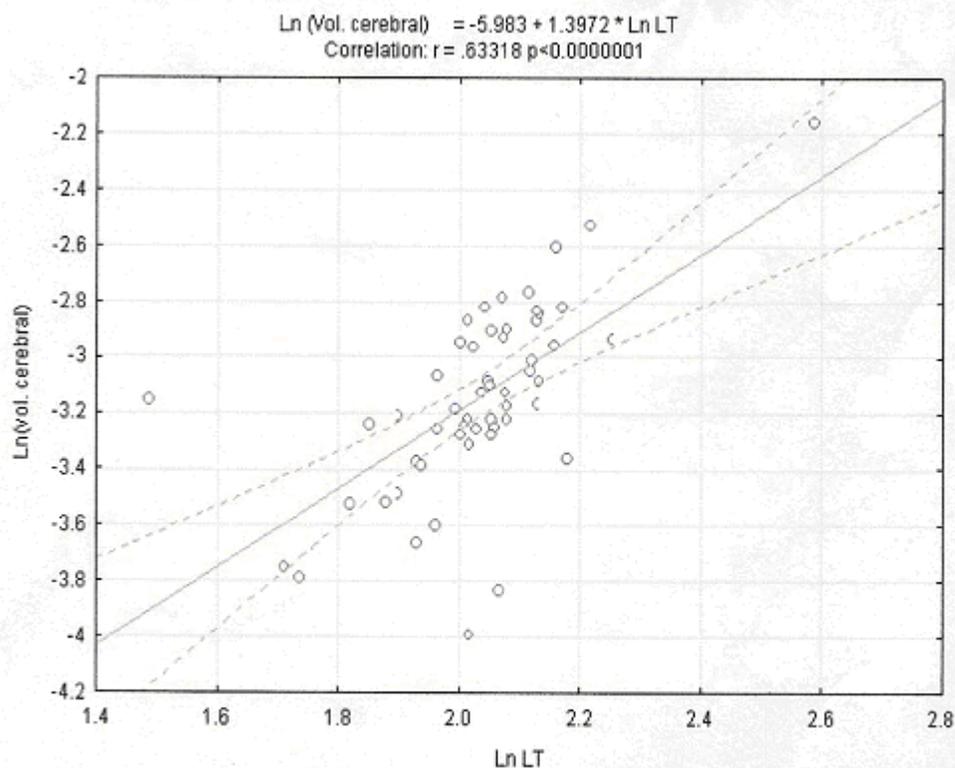


Figura 22.- gráfica 7: Curvas alométricas obtenidas de graficar las medidas obtenidas de los encéfalos del charal *Ch. humboldtianum* valores que fueron convertidos a logaritmo natural (Ln) de la longitud total (LT), contra el logaritmo natural (Ln) de la Volumen posterior (Vol. post.); donde podemos observar que el coeficiente de correlación $r = 0.63303$ $p < 0.0000001$, y el valor alométrico negativo de $\alpha = 1.7433 < 3$; Con la fórmula Vol. Post. = 0.0004 * LT^{1.7433}

Cuando se realizó el análisis de regresión de la longitud total del pez contra el volumen cerebral total se obtuvo la gráfica de la figura 23, en ella podemos observar que la ecuación que describe el comportamiento de los datos es volumen cerebral total (Vol. cerebral.) = 0.0025 longitud total (L. T.)^{1.3972}, en donde el valor de 0.0025 representa el volumen total cerebral cuando la longitud total = 1. El coeficiente de alometría $\alpha = 1.3972$ el cual es significativamente menor a “3” ($T = 5.8624$ $p < 0.001$), lo que significa que presenta una alometría negativa, es decir que el ritmo de crecimiento del cerebro es menor al ritmo de crecimiento del cuerpo. Con respecto a la validez de la ecuación, el coeficiente de correlación $r = 0.63318$ la cual es muy significativa ($p < 0.0000001$), indicándonos que existe correlación, implicando que la ecuación es adecuada para describir la relación entre la longitud total del pez y el volumen cefálico total.

h) Longitud total contra volumen cerebral.



Alométrico negativo $\alpha = 1.3972 < 3$; $t = 5.8624$ $p < 0.001$

$$\text{Formula: Vol. cerebral.} = 0.0025 * L T^{1.3972}$$

Figura 23.- gráfica 8: Curvas alométricas obtenidas de graficar las medidas obtenidas de los encéfalos del charal *Ch. humboldtianum* valores que fueron convertidos a logaritmo natural (Ln) de la longitud total (LT), contra el logaritmo natural (Ln) de la Volumen cerebral (Vol. cerebral.); donde podemos observar que el coeficiente de correlación $r = 0.63318$ $p < 0.0000001$, y el valor alométrico negativo de $\alpha = 1.3972 < 3$; Con la fórmula $\text{Vol. cerebral} = 0.0025 * L T^{1.3972}$

5.1.3.- Análisis Estadístico de la Comparación de los Coeficientes de Alometría.

Se realizó la comparación de los coeficientes de alometría obteniéndose la tabla siguiente:

Diferencia	D	t	P observada
α VCP- α VCM	0.4474	5.5568	P<0.0001
α VCP- α VCA	0.2063	2.5757	P<0.01
α VCA- α VCM	0.2411	2.8669	P<0.01

Figura 24.- En la tabla se pueden observar los resultados de la comparación de los coeficientes de alometría donde: D = Diferencia entre los coeficientes de alometría; t = Valor observado de la "t" de estuden;; P observada = Probabilidad observada.

Pudiéndose observar que pese a que todos los coeficientes reflejan alometrías negativas, se desarrolla más la porción posterior medianamente la porción anterior y menos la porción media, esto se hace evidente ya que al restar volumen del cerebro posterior menos volumen del cerebro medio hay una diferencia de 0.4474, que es mayor al resultado obtenido de hacer la misma operación del volumen del cerebro posterior menos volumen del cerebro anterior donde la diferencia es de 0.2063, pero aun es menor el resultado de hacer la resta del coeficiente alométrico del volumen del cerebro anterior menos el del volumen del cerebro medio que es el resultado en de 0.2411.

Discusión

La diversificación morfológica para los peces es muy alta comparada con la de otros vertebrados aún reconociendo las diferencias en rango taxonómico lo que se puede explicar parcialmente por el número potencial de modalidades sensoriales en ambientes acuáticos debido a las propiedades físicas del agua. En estos organismos la neurogénesis continúa en la mayor parte de su vida, por lo que la alometría podría explicar los cambios en la morfología cerebral a lo largo de toda la ontogenia.

El objetivo de este trabajo fue hacer el estudio alométrico del cerebro del charal *Chirostoma humboldtianum* y encontrar como los resultados reflejan la orientación sensitiva y hábitos del pez por medio de análisis las medidas de las porciones: cerebro anterior, cerebro medio y cerebro posterior, así como sus correspondientes volúmenes; la metodología se realizó bajo los preceptos de que la literatura actual asume que el tamaño relativo de los órganos periféricos se relaciona directamente con los centros cerebrales con que se conectan y que ambos son una medida de la importancia relativa de una facultad sensitiva particular o de la orientación sensorial del individuo y que junto con que los cambios en la demanda dominante altera la conectividad, el número y tamaño de elementos involucrados el tamaño relativo de las áreas cerebrales predicen confiablemente su importancia relativa (Krotchkal, et. al. 1998), y para corroborar tal relación la alometría univariada ha mostrado ser un método muy confiable utilizado por muchos biólogos evolutivos. Este análisis puede dirigirse a la variación en diferentes niveles, los cuales corresponden con los diferentes orígenes biológicos de la variación y covariación entre los caracteres (Klingenberg, 1998), uno de estos niveles le corresponde a la alometría ontogénica para la cual el crecimiento es la fuente de variación morfológica (Gersnowies, 2007) misma a la que se ha encauzado buena parte de este trabajo.

En el análisis alométrico de este estudio se usaron los datos de las secciones cruzadas en que cada espécimen individual está medido en una sola fase, y una trayectoria alométrica promedio se obtuvo (Klingenberg, 1998), como mezcla del total de 250 individuos y 42 encéfalos.

Del estudio se desprenden 3 posibles hipótesis:

- 1.- $VCA > VCM$ y VCP es decir sí volumen cerebro anterior mayor que volumen cerebro medio y volumen cerebro posterior; la cual implicaría que el pez presenta orientación olfativa.
- 2.- $VCM > VCA$ y VCP es decir sí volumen cerebro medio mayor que volumen cerebro anterior y volumen cerebro posterior la cual implicaría que el pez presenta orientación visual.

3.- $VCP > VCA$ y VCM es decir sí volumen cerebro posterior mayor que volumen cerebro anterior y volumen cerebro medio la cual implicaría que el pez se orienta acústico-lateralmente.

Observando los valores del coeficiente alométrico en las gráficas donde:

$\alpha_{CP} > \alpha_{CA}$ (1.7433 > 1.2959)

de las gráficas h (figura 23) y e (figura 20), α cerebro posterior mayor que α cerebro anterior

$\alpha_{CP} > \alpha_{CM}$ 1.7433 > 1.5370

de las gráficas h (figura 23) y f (figura 21), α cerebro posterior mayor que α cerebro medio

pero:

$\alpha_{CA} > \alpha_{CM}$ 1.5370 > 1.2959

de las gráficas e (figura 20) y f (figura 21), α cerebro anterior mayor que α cerebro medio

Donde:

α = Coeficiente alométrico

C = cerebro

A = anterior

M = medio

P = posterior

Esto implica:

a) Mayor incremento del cerebro posterior

recordemos que el cerebro posterior se considera tiene actividad acústico-lateral, (Kotrschal et. al., 1998), común de individuos que viven en grandes poblaciones (cardúmenes) relacionado al movimiento en conjunto, y se alimentan de plancton en la superficie del cuerpo de agua, lo cual concuerda con los hábitos de esta especie ya reportados por Gámez en 1984 sobre que *Chirostoma humboldtianum* organismo con alimentación zooplantónica, y con Krotchkal y colaboradores que en 1998 reporto un tipo de cerebro parecido al de este organismo, en un grupo de 3 especies que se alimentan solamente de plancton en la superficie como la carpa sable (*Peleciscus cultratus*), shemaya (*Chalcalburnus chalcoides*) y *Alburnus alburnus*, y se caracterizan por unos formidables lóbulos visuales y ellos presentan línea lateral con un pequeño tallo cerebral.

b) Menor incremento del cerebro medio reducción de la actividad visual lo cual implica que el organismo vive en agua turbias.

c) El incremento intermedio del cerebro medio posiblemente esta relacionado con el predominio del olfato, posiblemente con su ciclo reproductivo y el reconocimiento feromonal

Los resultados sugieren que *Chirostoma humboldtianum* presenta orientación acústico lateral.

El tamaño y forma del cerebro y sus componentes no son determinadas solamente por la historia evolutiva y la adaptación reciente sino que también están influidos por limitaciones en el desarrollo de lo cual se deriva que cerebros particulares están en hábitats particulares y se ha encontrado que el tamaño del cerebro es una función tanto del crecimiento alométrico como de la complejidad del hábitat (Krotchkal, et. al. 1998).

Esto nos lleva a considerar que el charal posee una orientación acústico lateral, seguida de la olfatoria; lo que nos habla de un ambiente de aguas turbias con una gran cantidad de obstáculos y/o individuos (lo cual coincide con el ambiente reportado para la especie).

Conclusiones

De los resultados provenientes del análisis alométrico de las porciones anterior, media y posterior del cerebro del charal *Chirostoma humboldtianum* se concluye que:

- El volumen del cerebro posterior es mayor que el volumen del cerebro anterior lo cual indica que el pez tiene como principal orientación sensorial la acústico- lateral, lo cual se asocia con ambientes de aguas turbias y alta densidad poblacional.
- El hecho de que la porción del cerebro anterior sea mayor a la del cerebro medio indica que hay reducción en la actividad visual relacionado a hábitats de agua turbia, por lo que la segunda orientación que predomina es la olfatoria además
- El incremento intermedio del cerebro medio se relaciona con el predominio del olfato, posiblemente con su ciclo reproductivo y el reconocimiento feromonal.
- Resulta interesante la poca relevancia que posee el sentido de la vista
- A pesar de que la extracción de los encéfalos fue muy laboriosa se obtuvieron 42 de ellos, los cuales quedaron conservados en formol al 4% como parte de una colección.

Bibliografía

- Aguilar, P. J. F., (1993), “Crecimiento, supervivencia y reproducción del charal *Chirostoma humboldtianum* en el embalse San Felipe Tiacaque Estado de México”, Tesis de Biólogo, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM, México, 37 p.p.
- Alaye, R. N., (1988), “Taxonomía de especies del género *Chirostoma* del lago de Pátzcuaro, Tallas grandes (Pescado blanco)” p. p. 106-108. In. SEPESCA, (1998), Informe de labores 1986-1988 del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Pátzcuaro Mich., Instituto Nacional de Pesca.
- Álvarez Del Villar, J. (1976), “Los Cordados”, 3ª Edición, Editorial Cecs, México.
- Atema, J., Fay, R. R. Popper, A. N. Y Tavolga, A. N., (1988), “Sensory Biology of Aquatic Animals”. New York, Berlin: Springer- Verlag, 936 pp.
- Bass A. H, Segil N, Kelley D. B. (1986), “Androgen binding in the brain and electric organ of a mormyrid fish”. J Comp Physiol. 159:535-544
- Bass A. H., (1990), “Sounds from the intertidal zone: vocalizing fis”. Bioscience 40:249-258.
- Barbour, C.D., (1966a), “The sistematics and evolution of fish water”, I.B.P. Hand booh No 3 Blackwell Scientific Publications. London. P.P 469-492
- Barbour, C.D., (1966b), “The sistemics and evolution of genus *Chirostoma*”, Ph. D., Thesis Tulane University, U.S.A.
- Barbour, C.D., (1973), “The sistematic and evolution of genus *Chirostoma swainson* (Atherinidae)”, Tulane stud. Zool. Bot. 18:97-141.
- Beltrán, E., (1982), “Contribución De México A La Biología”, Editorial Cecs, México.

- Bracegirdle, B., (1981), “Atlas De Estructura De Cordados”, Editorial Paraninfo, S. A. España.
- Brandstätter, R. and Kotrschal, K., (1990) “Brain growth patterns in four European cyprinid fish species (Cyprinidae, Teleostei): roach (*Rutilus rutilus*), bream (*Abramis brama*), common carp (*Cyprinus carpio*) and sabre carp (*Pelecus cultratus*)”. *Brain, Behav. Evolut.* 35, 195-211.
- Borrego V. A., (2001), “Contribución al estudio osteológico del charal *Chirostoma humboldtianum* (Osteichthyes: Atherinidae)”, Licenciatura UNAM, ENEP Iztacala, p. p.96
- Cadwallader P. L., (1975), “Relationship between brain morphology and ecology in New Zealand Galaxiidae, particularly *Galaxias vulgaris* (Pisces: Salmoniformes)”, *New Zealand Journal of Zoology*, Vol. 2 No. 1): 35-43 35.
- CETENAL, (1974), “Carta Edafológica”, Escala 1:50 000, F-14-C-88
- CETENAL, (1978), “Carta Topográfica”, Escala 1:50 000, F-14-C-88
- Chandler A. (1911), “On a limphoid structure lying over the myelencephalon of *lepisosteus*”. Tesis doctoral. *Zool.* 9 (2) 85-104
- Chandroo K.P., Duncan I.J.H., Moccia R.D., (2004), “Can fish suffer?: perspectives on sentience, pain, fear and stres”, *Applied Animal Behaviour Science* 86 225–250
- Chávez-Toledo, (1987), “Ictiofauna del Alto Lerma, Aspectos sistemáticos, zoogeográficos y ecológicos”. Tesis Licenciatura, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México, 51 p.p.
- Cházaro O., (1989), “Estudio sobre algunos aspectos de la biología del charal *Chirostoma jordani* en el embalse Trinidad Fabela”, Estado de México, Tesis Licenciatura, UNAM, FES Iztacala, 40 p.p.
- Chiasson, R. (1980), “Laboratory Anatomy Of The Perch”, 3^a Edition Wn. C. Brown Company Publishers, Usa.
- Deacon, (1990), “Fallacies of Progression in Theories of Brain-Size Evolution” *International Journal of Primatology*, 11 (3), 237-282.
- Deacon, (1990), “Problems of Ontogeny and Phylogeny in Brain-Size Evolution”, *International Journal of Primatology*, 11 (3), 193-236.
- De Buen F., (1945), “Investigaciones sobre ictiología continental, Atherinidae de aguas continentales de México”, *An. Inst. Biol. Méx.*, 16(2):475-532

- De la Cruz. (1985), “Análisis de variabilidad en una población de charal *Chirostoma Humboldtianum* (Valenciennes) Pisces, Atherinidae del embalse Huapango, Estado de México”. Memorias del octavo Congreso de zoología del 26 al 30 de agosto de 1985.
- De la Vega S., (2003), “Situación de los peces dulceacuícolas en México”, Ciencias Núm. 72, Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México, p.p. 20-30.
- Demski L. S.,(1992), “Cromatophore systems in teleosts and cephalopods: a levels oriented analysis of convergent systems”, Brain behav evol, 40:141-156
- Eastman J. T. y Lannoo M. J., (2003); “Anatomy and Histology of the Brain and Sense Organs of the Antarctic Plunderfish *Dolloidraco longedorsalis* (Perciformes: Notothenioidei: Artedidraconidae)”, With Comments on the Brain Morphology of - Other Artedidraconids and Closely related Harpagiferids; J. Morphol. 255:358-377
- Espinosa-Pérez H. M. T, Gaspar P. y P., Fuentes M., (1993)., Listados faunísticos de México III. Los peces dulceacuícolas mexicanos. Instituto de Biología UNAM México 97 p. p.
- Figueroa-Lucero, G.; Ma. C. Hernández-Rubio, G. Ríos-Becerril y M. Luisa Sevilla-Hernández., (1999), “Bioensayos de alimentación de alevines de *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes) (Pisces: Atherinidae) bajo condiciones de laboratorio”, An ESC. Nal. Cienc. Biol.. Mex. 45: 17-23
- Flores Rojas Leonel, (1985), “Contribución al conocimiento de la biología de las hembras del charal *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes) Pisces Atherinidae del embalse Huapango, Estado de México”; escuela nacional de ciencias biológicas; Tesis de Biología, 50 p.p.
- Fuentes L. L., (2000), “Espectro trófico durante un ciclo anual de *Chirostoma humboldtianum* Pisces: Atherinidae) en la presa las Trazas, municipio de Jocotitlán, Estado de México”, Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias UAEM México.
- Gámez Ch. G., (1984). “Análisis del contenido gastrointestinal del charal *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes) Pisces, Atherinidae del embalse Huapango, Estado de México”, Tesis Ciencias Biológicas ENCB IPN 52 p.p.
- Gayon J., (2000), “History of the concept of allometry”, Amer. Zool., 40:748-758.
- Gersenowies R. J., (2007), “Alometría, Lecturas de Anatomía Animal 2”, Facultad de Estudios Superiores campus Iztacala UNAM, 116 p. p.
- Gibbs W., (2002), “La extinción de las especies”. Investigación y Ciencia, 304: 53-56.

- González-Quirós R., Munuera I. y Folkvord A., (2007), “Cell Cycle Analysis of Brain Cells as a Growth Index in Larval Cod at Different Feeding Conditions and Temperatures”, *Scientia Marina* 71(3) 485-497, Barcelona (Spain).
- Graaf W. y Baker R., (1990), “Neuronal adaptation accompanying metamorphosis in the flatfish”, *J. Neurobiol.*, 21:1136-1152
- Hagedorn M, Womble M. Finger T. E., (1990), “Synodontid catfish: a new group of weakly electric fish”, behavior and anatomy. *Brain Behav Evol*, 35:268-277
- Healy S. D. y Rowe C. (2007), “A critique of comparative studies of brain size”, *Proc. R. Soc. B* (2007) 274, 453–464.
- Herryck J. y Crosby C, (1918), “A laboratory outline of neurology”, edit w. B. Saunders company, E.U., p.p. 120
- Hocutt, H. Ch. y Wiley, O. E., (1985), “The zoogeography of North American Freshwater Fishes”, Wiley J. & Sons Edt., p.p. 487- 517
- Huber, R y Rylander, M. K., (1992), “Brain morphology and turbidity preference in *Notropis* and related genera (Cyprinidae, Teleostei)”. In Balon, E. K., Wieser, W., Schiemer, F., Goldschmidt, A. Y Kotschal, K., Eds. *Environmental Biology of Fishes* 33. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 153-165
- Hubbert H. (1915), “The effect of age on habit formation in the albino rat”, Tesis Doctoral., Edit. Universidad John Hopkins. *Behavior Monographs*, 2(6) 56 p.p.
- Ishikawa Y., Yoshimoto M., Yamamoto N., Ito H., (1999), “Different Brain Morphologies from Different Genotypes in a Single Teleost Species, the Medaka (*Oryzias latipes*)”, *Brain Behav Evol*; 53:2–9.
- Jolicoeur, P., Pirlot, P., Baron, G., y Stephan, H. (1984) “Brain structure and correlation patterns in Insectivora, Chiroptera and primates”. *Syst. Zool*, 33, 14-29
- Kihlslinger R. L., Nevitt G. A., (2006), “Early rearing environment impacts cerebellar growth in juvenile salmon”, *The Journal of Experimental Biology* 209, 504-509, Published by The Company of Biologists.
- Klingenberg C. P. (1998) “Heterocrony And Allometry: The Analysis Of Evolutionary Change In Ontogeny”, *Biol. Rev.* 1998 P.P. 79-123 Printed In The United Kingdom.
- Kotschal, K. y Junger, H., (1988), “Patterns of brain morphology in mid-European cyprinidae (pises, Teleostei): a quantitative histological study”. *J Hirnforsch.* 29 341-352

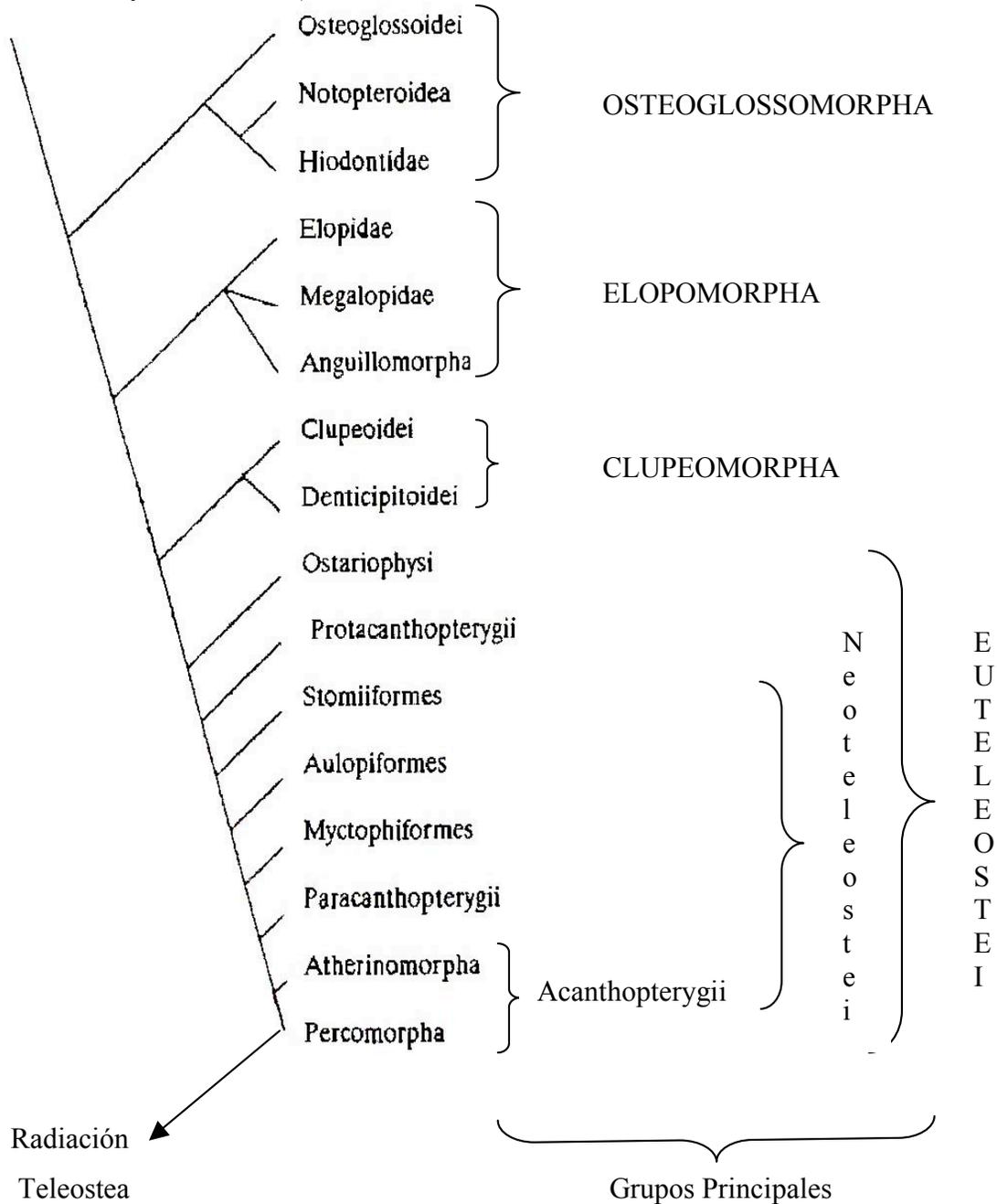
- Krotchkal K. Y Palzenberger M. (1992), “Neuroecology of cyprinids: comparative, quantitative histology reveals diverse brain patterns”. In Balon, E. K., Wieser, W., Schiemer, F., Goldschmidt, A. Y Kotschal, K. Eds. *Environmental Biology of Fishes* 33. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 135-152.
- Krotchkal K., Van Staaden M. J Huber R., (1998), “Fish brains: evolution and environmental relationships”. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 8, 373-408.
- Kruska, D. C. T. (1988) “The brain of the basking shark (*Cetorhinus maximus*)”. *Brain. Behav., Evolut.* 32, 353-363.
- Lagler, F.K., Bardach, E.J., Millar, R. R. y May Passino D. R., (1977), “Ictiología”, AGT Ed., México 489 p.p.
- Lauder G. V. y Liem K. F., (1983), “The evolution and interrelationships of the actinopterygian fishes”, *Bull Mus Comp* 2001, 150:95-197
- Lema S. C., Hodges J., Marchetti P., Nevitt A., (2005), “Proliferation zones in the salmon telencephalon and evidence for environmental influence on proliferation rate”, *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 141:327 – 335
- Marchettia M. P., Nevitt G.A, (2003), “Effects of hatchery rearing on brain structures of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*”, *Environmental Biology of Fishes*, 66: 9–14,.Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Martín del Campo. (1955). “Productos biológicos del Valle de México”, *Rev. Mex. Est. Antropol.*, 14:53-57
- Meek J. y R. Nieuwenhuys (1998), “Holosteans and Teleosts”. *En The Central nervous System of Vertebrates; Vol 2; Editado por R. Nieuwenhuys. H.J. Ten Donkelaar y Nicholson G.; Vol 2; Capitulo 15; edit. Springer, Berlin. pp. 759-938.*
- Medina. (1993). “Ictiofauna de la subcuenca del Río Angulo, Cuenca Lerma-Chapala, Michoacán”, Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología UMSNH, México, 146 p. p.
- Moncayo E. R., (1996), “Estructura y función de la comunidad de peces de la laguna de Zacapú Michoacán México”, Tesis Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos CICIMAR, México, 172 p. p.
- Motta P. J. y Kotschal, K. M. (1992) “Correlative, experimental, and comparative evolutionary approaches in ecomorphology”. *Neth. J. Zool.* 42, 400-415.
- Mukuda T., Ando M.; (2003); “Brain Atlas of the Japanese Eel: Comparison to Other Fishes”; *Mem. Fac. Integrated Arts and Sci., Hiroshima Univ., Ser. IV, Vol. 29* 1-25.
- Nelson, J.S., (1994), “Fishes of the world”, 3ª ed., John Wiley and Sons, Inc. U.S.A.

- Nieuwenhuys, R. (1982) “An overview of the organization of the brain of actinopterygian fishes”, *Amer. Zool.* 22, 287-310.
- Nieuwenhuys, R., ten Donkelaar, H.J. and Nicholson, C. (1998), “The Central Nervous System of Vertebrates”, Vols 1-3. Berlin: Springer Verlag, 2219 pp.
- Nilsson E. G., (1996), “Brain and Body Oxygen Requirements of *Gnathonemus petersii*, a Fish with an Exceptionally Large Brain”, *Journal of Experimental Biology* 199, 603–607 Printed in Great Britain.
- Niven J. E. (2005), “Brain Evolution: Getting Better All the Time?”, *Current Biology*; (15)16: 624-626
- Northcutt, R. G. y Davis, R. E. (1983), “Fish Neurobiology”, Vol. I. Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Ocampo S. E. (1981). “Cocina Internacional”, CECS, México, :196-220
- Palacios, S. M. C. , (1998), “Ciclo ovárico y desarrollo embrionario del pez blanco de Zacapú *Chirostoma humboldtianum* Valenciennes 1835 (Pisces: Atherinidae), en condiciones de cautiverio”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Naturales, Facultad de Biología de Morelia Michoacán. 55 P. p.
- Paulo M. J., Figueroa L. G. Y Soria B. M. (2000), “Peces dulceacuícolas mexicanos XVIII *Chirostoma humboldtianum* Atheriniformes: Atherinopsidae), Base de datos bibliográfica de *Chirostoma*”, Red regional de Recursos Regionales Bióticos, ISBN968-878-082-0IPN
- Pérez Salmeron L., (1982). “Piscicultura” Ecología, Explotación e Higiene”, Editorial el Manual Moderno, México D. F., 154 p. p.
- Pollen A. A., Dobberfuhr A. P., Scace J., Igulu M. M., Renn S. C.P., Shumway C. A, Hofmann H. A. (2007), “Environmental Complexity and Social Organization Sculpt the Brain in Lake Tanganyikan Cichlid Fish” ,*Brain Behav Evol*;70:21–39.
- Ridet, J. M. y Bauchot, R. (1990a), “Analyse quantitative de l’encephale des Teleosteïens: caractères évolutifs et adaptatifs de l’encephalisation”. I Geoneuroscience et analyse globale. *J. Hirnforsch.* 31, 51-63
- Ridet, J. M. y Bauchot, R. (1990b), “Analyse quantitative de l’encephale des Teleosteïens: caractères évolutifs et adaptatifs de l’encephalisation. II”, Les grandes subdivisions encephaliques. *J. Hirnforsch.* 31, 433-458.
- Rojas M., (1970), “Pescado blanco *Chirostoma estor*, su fomento y cultivo en México”, Series de divulgación del Instituto Nal. De Pesca México, Inst. Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras, 279 p.p.

- Romer, A. S., (1959), “The Vertebrate Story”, Londres; Impreso por The Univ. Chicago; pp. 437
- Rooney, D. J. y Laming, P. R., (1998), “Effects of telencephalic ablation on habituation of arousal responses, within and between daily training sessions in goldfish”, Behav. Neur. Biol. 49, 83-96.
- Saidel W. M., (1988), “How to be unseen: an essay in obscurity”, En: Atema J., Fay R. R., Popper A. H., Tavolga W. N., (eds.), Sensory biology of aquatic animals. Springer, Berlin, Heidelberg New York, p.p. 487-513.
- Sneath, P. H. A. Y Sokal, R. R. (1973), “Numerical Taxonomy”, San Francisco: W. H. Freeman And Co. 573.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (1998), “Anuario Estadístico de Pesca”.
- Sierra C. J. y Sierra, (1977). “Reseña histórica de la pesca en México”, Edición del Departamento de Pesca. México; 99 p. p.
- Soto, G. C. , (1953), “Peces de la cuenca de México”, Estudio zoológico y etnológico, Tesis de biólogo, Fac. de Ciencias., UNAM Méx., 49 p. p.
- Sholl D., (1947), “The quantitative investigation of vertebrate brain and the applicability of allometric formulae to its study”, The Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. pp. 243-258.
- Téllez Pérez Angélica, (1983), “Contribución al conocimiento de la biología de los machos del charal *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes) Pisces Atherinidae del embalse Huapango, Estado de México”, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas; Tesis de Biología, 45 p.p.
- Torres R., Orozco Bermeo, (1991), “Los Peces de México”, AGT editor S. A., Méx, D.F., 235 p. p
- Van den Burg E. H., Peeters R. R., Verhoye M., Meek J., Flik G., Van der Linden A., (2004), “Brain Responses to Ambient Temperature Fluctuations in Fish: Reduction of Blood Volume and Initiation of a Whole-Body Stress Response”, J. Neurophysiol 93: 2849–2855.
- Van Staaden, M., Huber, R., Kaufman, L. y Liem, K. (1995), “Brain evolution in cichlids of the African Great Lakes: brain and body size”, general patterns and evolutionary trends. Zoology 98, 165-178.
- Vigh-Teichmann, I. y B. Vigh (1983), “The system of cerebrospinal fluid-contacting neurons”. Arch. Histol. Jap. 46, 427-468.

- West G. B., Brown J. H. y Enquist B. J., (2004), “Growth models based on first principles or phenomenology?”, *Functional Ecology*, British Ecological Society, 18:188–196.
- Wullimann M. F. (1994)., “The teleostean torus longitudinalis: a short review on its structure, histochemistry, connectivity, possible function and phylogeny”, *Europ. J. Morphol.* 32, 235-242.
- Wright W., (1858), “Fishes and fishing”, *Anatomy of their senses*. Editorial Thomas Cautley, p.p. 384

APENDICE 1.- Cladograma que esquematiza las relaciones filogenéticas de los grandes grupos de la radiación de los teleosteos según Lauder y Liem en 1983, (Meek y Nieuwenhuys, et. al. 1998).



APENDICE 2.- Base de datos de las medidas morfométricas de los 250 organismos de la especie *Chirostoma hubboldtianum*.

Donde:

PEZ = Número de Pez LT = Longitud Total LP= Longitud Patrón
 LF = Longitud Furcal AMI = Altura Mínima AMA = Altura Máxima
 LC =Longitud Céfalica DO = Diámetro Ocular A1 =Base Aleta 1ª Dorsal
 A2 = Base Aleta 2ª Dorsal AA = Aleta Anal PESO = Peso del Individuo

PEZ	LT	LP	LF	AMI	AMALC	DO	A1	A2	AA	PESO	
1	16.5	15.4	14.4	1.14	2.72	3.82	0.92	0.52	1.82	2.82	36.3726
2	16.2	14	15.8	1.09	2.77	3.58	0.78	0.5	1.723	2.85	29.0544
3	13.29	11.5	12.5	0.95	2.23	2.91	0.7	0.31	1.57	2.46	15.738
4	8.42	7.07	7.82	0.52	1.17	1.78	0.46	0.2	0.84	1.55	3.8
5	7.23	6.35	6.84	0.42	1.1	1.55	0.4	0.09	0.71	1.19	2.4975
6	6.87	5.92	6.51	0.39	1.02	1.52	0.44	0.11	0.74	1.255	2.108
7	7.07	5.99	6.69	0.51	1.15	1.47	0.47	0.15	0.75	1.36	2.1717
8	7.56	6.52	7.18	0.49	1.13	1.65	0.46	0.13	0.81	1.42	2.55
9	9.47	8.13	9.03	0.62	1.46	2.14	0.47	0.22	0.88	1.64	6.2047
10	6.44	5.46	6.05	0.44	0.93	1.38	0.43	0.08	0.71	1.305	1.7475
11	7.59	6.47	7.14	0.53	1.17	1.7	0.43	0.11	0.84	1.44	3.3562
12	6.25	5.33	5.82	0.41	0.79	1.35	0.4	0.07	0.59	1.07	1.4023
13	8.96	7.42	8.22	0.55	1.31	2.02	0.53	0.11	1	1.65	4.3464
14	7.96	6.78	7.41	0.53	1.17	1.73	0.44	0.12	0.82	0.92	3.261
15	8.31	7.5	8.18	0.57	1.92	1.515	0.5	0.11	0.93	1.63	3.8258
16	8.005	6.76	7.42	0.52	1.13	1.73	0.49	0.15	0.905	1.48	3.1573
17	8.31	7.12	7.76	0.47	1.18	1.81	0.45	0.19	0.88	1.5	3.518
18	7.93	6.76	7.4	0.55	1.18	0.65	0.48	0.15	0.99	1.425	3.3532
19	8.41	7.09	7.75	0.53	1.28	1.53	0.51	0.13	0.94	1.58	4.0008
20	6.87	7.83	6.44	0.49	1.05	1.51	0.45	0.15	0.74	1.25	2.145
21	8.59	7.37	8.12	0.61	1.34	1.86	0.47	0.11	0.83	1.58	4.1
22	7.72	6.6	7.23	0.54	1.11	1.76	0.51	0.78	0.83	1.44	2.827
23	8.15	6.94	7.55	0.55	1.2	1.74	0.48	0.18	0.93	1.52	3.2161
24	8.37	7.08	7.79	0.55	1.21	1.87	0.52	0.12	0.85	1.35	3.9647
25	7.14	5.98	6.55	0.5	0.95	1.53	0.45	0.12	0.83	1.262	2.1345
26	7.11	6.01	6.66	0.51	0.95	1.57	0.49	0.14	0.93	1.23	2.2086
27	7.95	6.95	7.49	0.55	1.22	1.79	0.4	0.008	0.77	1.32	3.1644
28	7.3	6.18	6.93	0.57	1.09	1.47	0.46	0.11	0.8	1.44	2.4443
29	7.98	6.63	7.36	0.55	1.23	1.63	0.48	0.13	0.87	1.48	2.7722
30	8.71	7.48	8.2	0.58	1.23	1.82	0.48	0.15	0.99	1.56	4.1234
31	7.59	6.43	7.16	0.54	1.25	1.64	0.44	0.11	0.59	1.27	2.6166
32	7.27	6.08	6.74	0.51	1.03	1.49	0.47	0.1	0.63	1.26	2.6163
33	7.73	6.69	7.28	0.55	1.16	1.78	0.52	0.13	0.81	1.34	3.3273
34	7.84	6.69	7.26	0.55	1.2	1.62	0.47	0.19	0.79	1.5	3.5373

	35	7.98	6.81	7.48	0.54	1.24	1.78	0.46	0.11	0.96	1.48	3.751
PEZ	LT	LP	LF	AMI	AMA	LC	DO	A1	A2	AA	PESO	
36	7.73	6.59	7.3	0.55	1.71	1.7	0.51	0.14	0.78	1.33	3.1631	
37	7.26	6.21	6.86	0.51	1.18	1.52	0.48	0.16	0.75	1.31	3.9364	
38	7.83	6.76	7.79	0.53	1.25	1.78	0.5	0.15	0.84	1.46	3.116	
39	7.94	6.77	7.52	0.55	1.18	1.72	0.49	0.15	0.83	1.33	3.6134	
40	7.65	6.61	7.26	0.52	1.21	1.66	0.51	0.11	0.82	1.32	3.2474	
41	7.31	6.28	6.36	0.55	1.12	1.51	0.47	0.13	0.72	1.37	2.6499	
42	7.45	6.36	6.9	0.51	1.06	1.5	0.51	0.11	0.81	1.52	2.5	
43	8.025	6.75	7.55	0.55	1.21	1.74	0.47	0.12	1.01	1.58	3.0446	
44	7.8	6.55	7.13	0.51	1.76	1.57	0.46	0.17	0.81	1.47	2.8719	
45	7.56	6.43	7.07	0.51	1.14	1.63	0.41	0.12	0.81	1.42	2.8381	
46	6.59	6.61	6.11	0.44	0.93	1.35	0.43	0.09	0.69	1.28	1.7382	
47	7.98	6.79	7.49	0.51	1.15	1.19	0.45	0.11	0.745	1.48	3.2059	
48	7.77	6.58	7.25	0.51	1.11	1.79	0.46	0.15	0.83	1.28	2.6848	
49	7.12	5.97	6.54	0.48	1.04	1.46	0.42	0.07	0.71	1.15	2.4279	
50	7.43	6.25	6.81	0.53	1.1	1.55	0.46	0.2	0.82	1.36	2.4521	
51	7.13	6.08	6.61	0.49	1.07	1.48	0.44	0.12	0.81	1.22	2.1721	
52	7.01	5.86	6.41	0.44	0.97	1.55	0.44	0.1	0.71	1.32	2.1732	
53	7.16	6.17	6.67	0.55	1.15	1.52	0.48	0.09	0.63	1.18	2.7865	
54	7.09	5.99	6.61	0.44	1.01	1.45	0.49	0.1	0.68	1.32	2.0868	
55	6.81	5.63	6.3	0.45	0.97	1.5	0.39	0.07	0.63	1.21	1.8254	
56	7.51	6.04	6.95	0.54	1.09	1.6	0.45	0.1	0.97	1.47	2.384	
57	7.05	6.01	6.65	0.46	1.07	1.43	0.43	0.09	0.79	1.46	2.3693	
58	8.29	7.13	7.75	0.57	1.17	1.75	0.51	0.06	1.04	1.55	3.5825	
59	7.32	6.215	6.78	0.42	1.06	1.51	0.47	0.07	0.57	1.26	2.8009	
60	7.49	6.41	7.05	0.56	1.12	1.57	0.43	0.1	0.76	1.43	2.9	
61	7.79	6.77	7.41	0.57	1.18	1.69	0.45	0.13	0.98	1.55	3.073	
62	6.14	5.18	5.78	0.4	0.88	1.31	0.43	0.11	0.63	1.02	1.3606	
63	7.25	6.4	6.88	0.5	1.11	1.55	0.43	0.12	0.8	1.38	2.7631	
64	7.39	6.245	6.97	0.515	1.14	1.51	0.48	0.12	0.83	1.53	2.6482	
65	4.47	3.93	4.12	0.27	0.63	0.97	0.34	0.03	0.48	0.9	0.5941	
66	6.54	5.43	6.11	0.45	0.97	1.36	0.41	0.07	0.7	1.25	1.7962	
67	5.43	4.61	5	0.34	0.74	1.16	0.35	0.07	0.65	0.97	0.9247	
68	6.925	6.84	6.31	0.46	1.1	1.47	0.43	0.13	0.66	1.22	2.1713	
69	5.64	4.72	5.13	0.35	0.7	1.23	0.36	0.08	0.55	1.11	0.831	
70	4.49	3.71	4.09	0.26	0.45	0.97	0.31	0.05	0.43	0.87	0.5399	
71	5.22	4.31	4.71	0.32	0.73	1.13	0.34	0.04	0.61	1.2	0.818	
72	5.27	4.53	4.98	0.31	0.7	1.07	0.31	0.06	0.58	1	0.8849	
73	7.03	5.94	5.87	0.43	1.11	1.47	0.44	0.08	0.71	1.32	2.35	
74	5.27	4.57	4.95	0.34	0.78	1.11	0.37	0.07	0.6	1	0.9266	
75	4.35	4.1	4.46	0.31	0.71	1.03	0.34	0.05	0.51	0.76	0.7134	
76	6.16	5.18	5.7	0.38	0.85	1.31	0.35	0.05	0.63	1.05	1.3182	
77	5.92	4.96	5.39	0.41	0.84	1.21	0.36	0.07	0.74	1.15	1.24	
78	5.87	4.98	5.53	0.37	0.81	1.37	0.39	0.06	0.64	1.25	1.1265	
79	5.44	4.68	5.19	0.39	0.8	1.1	0.34	0.05	0.53	1.12	1.7912	
80	6.5	5.6	6.36	0.42	0.96	1.48	0.45	0.06	0.73	1.18	1.7912	
81	6.66	5.52	6.06	0.43	1.03	1.37	0.45	0.06	0.71	1.27	3.3716	
82	6.65	5.66	6.26	0.37	0.85	1.49	0.37	0.08	0.7	1.15	2.1376	
83	6.81	5.63	6.36	0.46	1.06	1.38	0.46	0.1	0.71	1.32	2.1115	
84	6.88	5.85	6.53	0.41	0.9	1.5	0.41	0.1	0.74	1.35	2.24	

	85	6	5.18	5.72	0.36	0.87	1.3	0.3	0.03	0.8	1.05	1.5975
PEZ	LT	LP	LF	AMI	AMA	LC	DO	A1	A2	AA	PESO	
86	6.67	5.54	6.17	0.4	0.96	1.46	0.35	0.03	0.73	1.2	2.2223	
87	6.64	5.82	6.27	0.45	0.93	1.43	0.37	0.07	0.73	1.25	2.1324	
88	6.73	5.66	6.28	0.43	1	1.39	0.42	0.06	0.68	1.26	1.597	
89	6.41	5.38	5.9	0.4	0.88	1.315	0.42	0.11	0.65	1.15	1.2001	
90	5.96	5.065	5.61	0.4	0.96	1.36	0.4	0.08	0.59	1.2	1.5602	
91	5.91	5.04	5.64	0.35	0.96	1.23	0.36	0.04	0.63	0.94	2.2069	
92	6.12	5.17	5.71	0.41	0.93	1.33	0.35	0.11	0.61	1.23	1.4356	
93	6.87	5.84	6.37	0.43	0.99	1.44	0.42	0.07	0.83	1.43	1.8453	
94	5.53	4.7	5.14	0.33	0.74	1.23	0.34	0.04	0.6	1.02	1.06	
95	5.75	4.8	5.41	0.33	0.82	1.24	0.35	0.06	0.6	0.96	1.067	
96	6.65	5.66	6.15	0.41	0.9	1.41	0.37	0.06	0.79	1.32	1.8545	
97	7.41	6.24	6.92	0.44	1.15	1.6	0.45	0.07	0.7	1.42	2.3939	
98	6.84	5.7	5.39	0.46	1.06	1.33	0.5	0.11	0.86	1.31	1.8088	
99	8.43	7.66	5.11	0.55	1.22	1.79	0.4	0.008	0.77	1.32	3.1644	
100	6.23	5.27	5.97	0.41	1	1.37	0.37	0.04	0.72	1.43	1.6581	
101	8.43	7.27	8	0.52	1.14	1.97	0.41	0.13	0.91	1.53	4.3738	
102	6.53	5.51	6.12	0.33	0.86	1.43	0.34	0.07	0.75	1.24	1.9419	
103	8.64	7.27	7.96	0.55	1.24	1.93	0.42	0.17	0.98	1.66	4.726	
104	8.65	7.46	8.21	0.55	1.21	2	0.51	0.14	0.95	1.58	4.7259	
105	8.82	7.57	8.34	0.55	1.33	1.93	0.46	0.15	1.07	1.66	5.5105	
106	7.03	5.96	6.59	0.42	1	1.65	0.35	0.15	0.75	1.33	2.5286	
107	7.13	6	6.7	0.41	0.96	1.58	0.39	0.12	0.65	1.25	2.5854	
108	7.52	6.4	7.07	0.45	1.06	1.73	0.41	0.14	0.87	1.44	3.1955	
109	3.97	3.51	3.87	0.23	0.48	0.79	0.23	0.01	0.38	0.82		
110	16.5	15.4	14.4	1.14	2.72	3.82	0.92	0.52	1.82	2.82	36.3726	
111	7.25	6.4	6.88	0.5	1.11	1.55	0.43	0.12	0.8	1.38	2.7631	
112	5.91	5.04	5.64	0.35	0.96	1.23	0.36	0.04	0.63	0.94	2.2069	
113	11.47	9.84	10.73	0.79	1.82	2.54	0.6	0.37	1.27	2.2	11.0807	
114	8.67	7.43	8.08	0.7	1.3	1.92	0.45	0.25	0.15	1.6	4.9574	
115	6.15	5.44	5.82	0.4	0.87	1.23	0.35	0.05	0.67	1.23	1.5664	
116	9.509	7.01	7.7	0.56	1.22	1.87	0.45	0.15	0.85	1.53	6.2333	
117	6.04	5.1	5.62	0.37	0.85	1.23	0.37	0.05	0.64	1.23	1.3165	
118	8.14	6.95	7.65	0.51	1.21	1.86	0.43	0.07	0.85	1.47	4.0592	
119	8.4	7.12	7.8	0.62	1.23	1.87	0.45	0.07	0.98	1.5	4.4284	
120	5.43	4.61	5	0.34	0.74	1.16	0.35	0.07	0.65	0.97	0.9247	
121	6.5	5.51	5.95	0.42	0.92	1.34	0.38	0.1	0.84	1.24	1.7856	
122	8.67	7.43	8.08	0.7	1.3	1.92	0.45	0.25	0.15	1.6	4.9574	
123	6.41	5.36	5.98	0.43	0.93	1.33	0.39	0.08	0.78	1.23	1.5308	
124	7.78	6.64	7.23	0.51	1.11	1.85	0.44	0.14	0.96	1.44	3.5265	
125	6.68	5.64	6.06	0.42	0.96	1.4	0.41	0.04	0.62	1.06	1.9872	
126	6.44	5.46	6.05	0.44	0.93	1.38	0.43	0.08	0.71	1.305	1.7475	
127	7.44	6.82	6.3	0.4	1.04	1.45	0.4	0.08	0.88	1.37	2.6129	
128	5.85	4.92	5.43	0.35	0.84	1.2	0.37	0.1	0.65	1.17	1.31	
129	6.93	5.82	6.35	0.5	1.04	1.47	0.46	0.1	0.88	1.45	2.2137	
130	6.31	5.22	5.96	0.4	0.95	1.31	0.35	0.075	0.75	1.11	1.662	
131	11.47	9.84	10.73	0.79	1.82	2.54	0.6	0.37	1.27	2.2	11.0807	
132	7.59	6.47	7.14	0.53	1.17	1.7	0.43	0.11	0.84	1.44	3.3562	
133	7.21	6.14	6.76	0.45	1.03	1.55	0.48	0.05	0.79	1.41	2.5686	
134	6.95	5.83	6.55	0.43	1.1	1.44	0.43	0.07	0.79	1.35	2.2106	

135	7.09	5.99	6.61	0.44	1.01	1.45	0.49	0.1	0.68	1.32	2.0868
PEZ	LT	LP	LF	AMI	AMA	LC	DO	A1	A2	AA	PESO
136	8.04	6.81	7.54	0.52	1.07	1.74	0.4	0.14	0.81	1.42	2.8856
137	8.47	7.28	8.05	0.62	1.22	1.95	0.51	0.1	0.88	1.61	4.3216
138	6.14	5.17	5.67	0.35	0.91	1.32	0.4	0.07	0.7	1.01	1.3701
139	5.95	4.97	5.42	0.32	0.81	1.23	0.35	0.07	0.67	1.1	1.1944
140	5.39	4.65	5.12	0.34	0.72	1.2	0.33	0.01	0.57	0.9	1.0271
141	6.32	5.27	5.83	0.37	0.86	1.26	0.37	0.07	0.64	1.25	1.509
142	5.95	4.97	5.42	0.32	0.81	1.23	0.35	0.07	0.67	1.1	1.1944
143	5.85	4.96	5.54	0.34	0.87	1.19	0.36	0.06	0.57	1.14	1.2825
144	5.82	4.9	5.39	0.37	0.93	1.9	0.37	0.6	0.55	1.04	1.1084
145	5.86	4.73	5.25	0.32	0.68	1.15	0.35	0.05	0.6	1.14	1.1079
146	5.78	4.95	5.45	0.37	0.78	1.23	0.33	0.05	0.67	1	1.3412
147	5.55	4.64	5.17	0.32	0.71	1.16	0.33	0.06	0.51	1.07	1.1633
148	5.66	4.91	5.35	0.33	0.75	1.17	0.39	0.1	0.7	1.21	0.8648
149	6.06	5.2	5.7	0.37	0.88	1.28	0.4	0.07	0.64	1.16	1.4876
150	5.77	4.93	5.5	0.35	0.81	1.21	0.32	0.08	0.65	1.25	1.1274
151	6.2	5.25	5.82	0.37	0.73	1.25	0.35	0.07	0.71	1.1	1.2084
152	5.56	4.69	5.14	0.31	0.78	1.24	0.32	0.04	0.62	1	1.0541
153	5.45	4.54	4.96	0.36	0.75	1.22	0.37	0.07	0.54	1	0.8433
154	5.05	4.23	4.44	0.28	0.63	1.02	0.33	0.06	0.62	1.09	0.8038
155	5.35	4.42	5	0.34	0.76	1.24	0.33	0.04	0.54	1.14	1.0653
156	6.24	5.29	5.84	0.34	0.93	1.43	0.39	0.05	0.64	1.29	3.4037
157	7.22	6.1	6.32	0.46	1.01	1.7	0.32	0.1	0.71	1.37	2.5514
158	8.04	6.81	7.54	0.52	1.07	1.74	0.4	0.14	0.81	1.42	2.8856
159	6.5	5.54	6.09	0.43	0.96	1.24	0.42	0.07	0.59	1.16	0.8416
160	6	5.03	5.45	0.35	0.85	1.19	0.32	0.09	0.66	1.1	1.1733
161	5.95	4.97	5.42	0.32	0.81	1.23	0.35	0.07	0.67	1.1	1.1944
162	5.3	4.42	4.82	0.32	0.67	1.04	0.31	0.01	0.63	1.18	0.8657
163	5.92	5.03	5.35	0.35	0.85	1.29	0.43	0.08	0.68	1.11	1.4428
164	7.69	6.51	7.3	0.5	1.05	1.73	0.38	0.12	0.76	1.42	3.39
165	8.91	7.67	8.42	0.57	1.33	2.01	0.47	0.09	1	1.6	4.692
166	4.92	4.23	4.64	0.3	0.7	1.06	0.36	0.01	0.5	1.04	0.7776
167	8.47	7.28	8.05	0.62	1.22	1.95	0.51	0.1	0.88	1.61	4.3216
168	4.83	4.05	4.46	0.29	0.6	0.96	0.3	0.05	0.5	0.96	0.7756
169	5.66	4.84	5.21	0.32	0.74	1.2	0.32	0.01	0.64	1.18	1.1968
170	4.56	3.86	4.16	0.32	0.63	1	0.32	0.05	0.64	1.05	0.7078
171	7.67	6.55	7.15	0.5	1.07	1.78	0.41	0.07	0.92	1.37	3.2556
172	8.37	7.18	7.47	0.51	1.2	1.87	0.41	0.12	0.92	1.65	3.361
173	8.62	7.33	8.13	0.55	1.19	1.96	0.42	0.12	0.92	1.53	4.3188
174	9.27	7.91	8.65	0.6	1.37	2.1	0.55	0.27	1.22	1.86	6.0849
175	8.53	7.15	8	0.5	1.16	1.89	0.43	0.14	0.93	1.67	3.4009
176	8.1	6.84	7.57	0.5	1.08	1.75	0.37	0.11	0.91	1.57	3.5477
177	7.87	6.72	7.46	0.46	1.09	1.79	0.94	0.13	0.82	1.49	3.363
178	7.66	6.64	7.23	0.43	1.01	1.76	0.41	0.15	0.86	1.38	2.9271
179	7.75	6.72	7.39	0.46	1.17	1.73	0.41	0.15	0.83	1.55	3.3465
180	7.98	6.96	7.43	0.5	1.12	1.75	0.47	0.12	0.89	1.37	3.514
181	8.33	7.08	7.78	0.5	1.22	1.83	0.43	0.1	0.92	1.52	4.1303
182	8	6.77	7.55	0.55	1.23	1.73	0.43	0.08	0.85	1.51	3.7191
183	7.75	6.68	7.28	0.46	1.1	1.71	0.41	0.14	0.82	1.48	3.2547
184	8.29	7.16	7.83	0.53	1.19	1.9	0.43	0.15	0.9	1.62	4.0456

	185	4.73	4.1	4.35	0.25	0.66	0.97	1.01	0.04	0.55	0.95	0.6648
PEZ	LT	LP	LF	AMI	AMA	LC	DO	A1	A2	AA	PESO	
186	8.91	7.56	8.45	0.61	1.4	2.1	0.44	0.1	0.95	1.48	5.41	
187	7.78	6.74	7.45	0.52	1.2	1.73	0.38	0.1	0.82	1.44	3.8512	
188	7.46	6.37	7.02	0.45	1	1.67	0.4	0.04	0.75	1.37	2.745	
189	7.93	6.72	7.37	0.51	1.06	1.64	0.4	0.07	0.82	1.54	3.3738	
190	7.05	5.83	6.64	0.41	0.96	1.59	0.38	0.09	0.75	1.3	2.3605	
191	7.77	6.47	7.25	0.5	1.1	1.69	0.42	0.12	0.85	1.5	3.5229	
192	8.28	7.15	7.82	0.53	1.15	1.63	0.43	0.14	0.85	1.55	3.9476	
193	5.44	4.68	5.19	0.39	0.8	1.1	0.34	0.05	0.53	1.12	1.7912	
194	7.99	6.37	7.55	0.58	1.1	1.81	0.42	0.14	0.94	1.43	3.599	
195	6.46	5.55	6.13	0.37	0.86	1.47	0.36	0.14	0.78	1.25	1.844	
196	7.87	6.75	7.4	0.51	1.09	1.74	0.37	0.15	0.95	1.37	2.9647	
197	9.78	8.35	9.14	0.63	1.41	2.15	0.45	0.16	1.03	1.81	6.0592	
198	6.96	5.93	6.43	0.43	0.95	1.58	0.4	0.11	0.73	1.32	3.05194	
199	7.55	6.46	7.14	0.48	1.07	1.74	0.41	0.12	0.92	1.43	2.8272	
200	9.12	7.74	8.61	0.56	1.24	2.05	0.46	0.13	0.93	1.68	3.8776	
201	7.33	6.32	6.82	0.42	0.96	1.7	0.32	0.14	0.78	1.38	2.5214	
202	9.18	7.76	8.57	0.57	1.25	2.06	0.5	0.13	1.09	1.67	5.1848	
203	7.28	6.27	6.93	0.45	1.06	1.64	0.4	0.08	0.85	1.32		
204	4.41	3.75	4.13	0.26	0.58	0.98	0.25	0.001	0.36	0.82	0.6759	
205	7.51	6.47	7.19	0.47	1.15	1.64	0.43	0.11	0.76	1.43	3.0212	
206	9.22	7.9	8.61	0.59	1.34	2.03	0.46	0.15	1.06	1.93	5.8434	
207	8.16	7	7.7	0.51	1.06	1.74	0.45	0.17	0.87	1.45	3.3382	
208	7.29	6.14	6.89	0.42	1	1.65	0.4	0.15	0.71	1.26	2.5417	
209	7.35	6.42	7.1	0.46	1	1.65	0.43	0.12	0.77	1.25	2.7366	
210	7.55	6.55	7.15	0.47	1.06	1.62	0.46	0.13	0.82	1.42	3.1774	
211	7.07	5.99	6.69	0.51	1.15	1.47	0.47	0.15	0.75	1.36	2.1717	
212	7.25	6.19	6.87	0.46	0.98	1.63	0.37	0.06	0.8	1.37	2.5989	
213	7.45	6.41	7.1	0.46	1.03	1.73	0.43	0.11	0.32	1.33	2.98	
214	7.73	6.72	7.37	0.5	1.1	1.67	0.42	0.15	0.82	1.6	2.8651	
215	6.64	5.6	6.23	0.37	0.95	1.45	0.38	0.14	0.67	1.35	2.0144	
216	7	5.96	6.54	0.42	0.99	1.51	0.35	0.15	0.72	1.36	2.5414	
217	6.37	7.5	6.09	0.45	0.99	0.49	0.37	0.14	0.73	1.27	2.03	
218	8.31	7.12	7.76	0.47	1.18	1.81	0.45	0.19	0.88	1.5	3.518	
219	7.48	7.28	8.04	0.53	1.87	1.85	0.43	0.14	0.95	1.57	4.25	
220	7.91	6.82	7.55	0.48	1.2	1.75	0.43	0.16	0.85	1.46	3.8408	
221	7.23	6.23	6.87	0.42	1	1.64	0.42	0.11	0.33	1.41	2.6824	
222	7.38	6.34	7.09	0.43	0.96	1.69	0.37	0.15	0.76	1.55	2.9746	
223	7.51	6.42	7.09	0.47	1.01	1.67	0.37	0.17	0.81	1.42	2.8984	
224	7.48	7.28	8	0.6	1.25	1.98	0.45	0.16	0.87	1.52	4.6304	
225	8.95	7.62	8.38	0.6	1.32	1.94	0.45	0.17	0.96	1.57	5.3366	
226	7.69	6.51	7.3	0.5	1.05	1.73	0.38	0.12	0.76	1.42	3.39	
227	8.41	7.11	7.87	0.54	1.21	1.92	0.45	0.15	0.85	1.48	4.32	
228	7.22	6.1	6.32	0.46	1.01	1.7	0.32	0.1	0.71	1.37	2.5514	
229	7.42	6.4	7.04	0.46	1.01	1.71	0.45	0.12	0.78	1.45	2.9686	
230	7.66	6.47	7.16	0.46	1.05	1.73	0.42	0.14	0.88	1.51	3.6406	
231	7.71	6.54	7.25	0.52	1.14	1.72	0.43	0.15	0.83	1.59	3.789	
232	11.47	9.84	10.73	0.79	1.82	2.54	0.6	0.37	1.27	2.2	11.0807	
233	6.96	5.93	6.43	0.43	0.95	1.58	0.4	0.11	0.73	1.32	4.0023	
234	6.01	5.08	5.64	0.34	0.78	1.35	0.32	0.09	0.64	1.06	2.5	

235	5.72	4.83	5.32	0.31	0.75	1.29	0.3	0.07	0.55	1.12	3.1254
PEZ	LT	LP	LF	AMI	AMA	LC	DO	A1	A2	AA	PESO
236	6.36	5.43	5.99	0.41	0.32	1.46	0.35	0.1	0.66	1.15	1.3201
237	5.01	4.25	4.75	0.31	0.64	1.13	0.32	0.11	0.56	0.84	1.98
238	8.67	7.43	8.08	0.7	1.3	1.92	0.45	0.25	0.15	1.6	4.9574
239	5.95	4.97	5.42	0.32	0.81	1.23	0.35	0.07	0.67	1.1	1.1944
240	6.15	5.44	5.82	0.4	0.87	1.23	0.35	0.05	0.67	1.23	1.5664
241	8.04	6.81	7.54	0.52	1.07	1.74	0.4	0.14	0.81	1.42	2.8856
242	6.44	5.46	6.05	0.44	0.93	1.38	0.43	0.08	0.71	1.305	1.7475
243	8.47	7.28	8.05	0.62	1.22	1.95	0.51	0.1	0.88	1.61	4.3216
244	156	6.24	5.29	5.84	0.34	0.93	1.43	0.39	0.05	0.64	1.29
245	7.09	5.99	6.61	0.44	1.01	1.45	0.49	0.1	0.68	1.32	2.0868
246	5.44	4.68	5.19	0.39	0.8	1.1	0.34	0.05	0.53	1.12	1.7912
247	7.07	5.99	6.69	0.51	1.15	1.47	0.47	0.15	0.75	1.36	2.1717
248	7.59	6.47	7.14	0.53	1.17	1.7	0.43	0.11	0.84	1.44	3.3562
249	5.95	4.97	5.42	0.32	0.81	1.23	0.35	0.07	0.67	1.1	1.1944
250	8.31	7.12	7.76	0.47	1.18	1.81	0.45	0.19	0.88	1.5	3.518

APÉNDICE 3.- Base de datos de las medidas de las porciones cerebrales de los organismos de la especie *Chirostoma humboldtianum* en excel.

Donde:

PEZ = Número de Pez

CAL = Largo de Cerebro Anterior

CAA = Ancho de Cerebro Anterior

CML = Largo de Cerebro Medio

CMA = Ancho Cerebro Medio

CPL = Largo Cerebro Posterior

CPA = Ancho Cerebro Posterior

LONG. TOT. = Longitud Total Cerebral

PEZ	C.A. L	C.A.A.	C.M.L.	C.M.A.	C.P.L.	C.P.A.	LONG. TOT.
3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.9
4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.7
6	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.7
11	0.3	0.3	0.27	0.4	0.2	0.3	0.7
14	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.8
15	0.19	0.22	0.24	0.42	0.2	0.25	0.6
18	0.19	0.2	0.4	0.34	0.2	0.29	0.79
24	0.2	0.19	0.24	0.34	0.21	0.22	0.65
26	0.15	0.12	0.2	0.3	0.18	0.21	0.53
33	0.15	0.15	0.2	0.32	0.19	0.22	0.54
35	0.15	0.2	0.21	0.32	0.2	0.22	0.56
39	0.15	0.19	0.2	0.32	0.2	0.22	0.55
40	0.18	0.2	0.23	0.3	0.21	0.21	0.62
45	0.15	0.2	0.2	0.31	0.19	0.22	0.44
48	0.12	0.19	0.22	0.32	0.19	0.21	0.53
49	0.18	0.15	0.21	0.31	0.21	0.22	0.6
58	0.12	0.12	0.21	0.31	0.2	0.22	0.53
60	0.18	0.18	0.2	0.3	0.16	0.21	0.54
68	0.18	0.2	0.2	0.29	0.18	0.16	0.56
76	0.18	0.18	0.2	0.25	0.12	0.2	0.5
82	0.16	0.15	0.2	0.3	0.15	0.21	0.51
87	0.18	0.18	0.2	0.3	0.18	0.2	0.56
93	0.12	0.15	0.18	0.28	0.15	0.19	0.45
94	0.15	0.15	0.2	0.29	0.15	0.2	0.5
101	0.2	0.2	0.24	0.38	0.2	0.29	0.64
102	0.2	0.16	0.22	0.3	0.2	0.25	0.62
104	0.2	0.18	0.25	0.35	0.2	0.24	0.65
105	0.2	0.2	0.25	0.35	0.2	0.26	0.65
116	0.18	0.22	0.31	0.4	0.26	0.3	0.75
120	0.17	0.18	0.22	0.3	0.18	0.26	0.57
122	0.26	0.21	0.24	0.39	0.23	0.29	0.73
124	0.15	0.15	0.21	0.3	0.17	0.24	0.53

157	0.24	0.21	0.25	0.39	0.17	0.3	0.63
161	0.21	0.15	0.27	0.4	0.2	0.28	0.68
PEZ	C. A. L.	C.A.A.	C. M. L.	C. M. A.	C. P. L.	C. P. A. LONG.	TOT.
164	0.26	0.22	0.28	0.39	0.21	0.28	0.75
169	0.09	0.09	0.2	0.26	0.1	0.14	0.39
172	0.19	0.15	0.22	0.34	0.21	0.26	0.62
180	0.19	0.19	0.22	0.33	0.26	0.17	0.67
191	0.22	0.22	0.24	0.36	0.2	0.25	0.66
194	0.19	0.2	0.26	0.4	0.2	0.28	0.66
224	0.15	0.12	0.16	0.36	0.15	0.26	0.46
212	0.26	0.017	0.22	0.31	0.19	0.24	0.67

APENDICE .- Base de datos conteniendo los valores de las medidas de encéfalos de los organismos de la especie *Chiostoma humboldtianum*. en logaritmo natural, en excel.

PEZ	C.A. L	C.A.A.	C.M.L.	C.M.A.	C.P.L.	C.P.A.
3	-1.60943791	-1.2039728	-0.91629073	-0.69314718	-1.2039728	-0.91629073
4	-1.60943791	-1.2039728	-1.2039728	-0.91629073	-1.60943791	-1.60943791
6	-1.60943791	-1.60943791	-1.2039728	-0.91629073	-1.60943791	-1.2039728
11	-1.2039728	-1.2039728	-1.30933332	-0.91629073	-1.42711636	-1.13943428
14	-1.60943791	-1.60943791	-1.2039728	-0.91629073	-1.2039728	-1.2039728
15	-1.66073121	-1.51412773	-1.42711636	-0.86750057	-1.60943791	-1.38629436
18	-1.66073121	-1.60943791	-0.91629073	-1.07880966	-1.60943791	-1.23787436
24	-1.60943791	-1.66073121	-1.42711636	-1.07880966	-1.56064775	-1.51412773
26	-1.89711998	-2.1226354	-1.60943791	-1.2039728	-1.71479843	-1.56064775
33	-1.89711998	-1.89711998	-1.60943791	-1.13943428	-1.66073121	-1.51412773
35	-1.89711998	-1.60943791	-1.56064775	-1.13943428	-1.60943791	-1.51412773
39	-1.89711998	-1.66073121	-1.60943791	-1.13943428	-1.60943791	-1.51412773
40	-1.71479843	-1.60943791	-1.42711636	-1.2039728	-1.56064775	-1.56064775
45	-1.89711998	-1.60943791	-1.60943791	-1.17118298	-1.66073121	-1.51412773
48	-2.1226354	-1.66073121	-1.51412773	-1.13943428	-1.66073121	-1.56064775
49	-1.71479843	-1.89711998	-1.56064775	-1.17118298	-1.56064775	-1.51412773
58	-2.1226354	-1.60943791	-1.56064775	-1.17118298	-1.60943791	-1.51412773
60	-1.71479843	-1.71479843	-1.60943791	-1.2039728	-1.83258146	-1.56064775
68	-1.71479843	-1.60943791	-1.60943791	-1.23787436	-1.71479843	-1.83258146
76	-1.71479843	-1.71479843	-1.60943791	-1.42711636	-2.1226354	-1.60943791
82	-1.83258146	-1.89711998	-1.60943791	-1.2039728	-1.89711998	-1.56064775
87	-1.71479843	-1.71479843	-1.60943791	-1.2039728	-1.71479843	-1.60943791
93	-2.1226354	-1.89711998	-1.71479843	-1.27296568	-1.89711998	-1.66073121
94	-1.89711998	-1.89711998	-1.60943791	-1.23787436	-1.89711998	-1.60943791
101	-1.60943791	-1.60943791	-1.42711636	-0.96758403	-1.60943791	-1.23787436
102	-1.60943791	-1.83258146	-1.51412773	-1.2039728	-1.60943791	-1.38629436
104	-1.60943791	-1.71479843	-1.38629436	-1.04982212	-1.60943791	-1.42711636
105	-1.60943791	-1.60943791	-1.38629436	-1.04982212	-1.60943791	-1.34707365
116	-1.71479843	-1.51412773	-1.17118298	-0.91629073	-1.34707365	-1.2039728
120	-1.77195684	-1.71479843	-1.51412773	-1.2039728	-1.71479843	-1.34707365
122	-1.34707365	-1.56064775	-1.42711636	-0.91629073	-1.46967597	-1.23787436
124	-1.89711998	-1.89711998	-1.56064775	-1.2039728	-1.77195684	-1.42711636
157	-1.42711636	-1.56064775	-1.38629436	-0.91629073	-1.77195684	-1.2039728
161	-1.56064775	-1.89711998	-1.30933332	-0.91629073	-1.60943791	-1.27296568
164	-1.34707365	-1.60943791	-1.27296568	-0.91629073	-1.56064775	-1.27296568
169	-2.40794561	-2.40794561	-1.60943791	-1.34707365	-2.30258509	-1.96611286
172	-1.66073121	-1.89711998	-1.60943791	-1.07880966	-1.56064775	-1.34707365
180	-1.66073121	-1.66073121	-1.51412773	-1.10866262	-1.34707365	-1.77195684
191	-1.51412773	-1.51412773	-1.42711636	-1.02165125	-1.60943791	-1.38629436
194	-1.66073121	-1.51412773	-1.34707365	-0.91629073	-1.60943791	-1.27296568
212	-1.34707365	-1.77195684	-1.17118298	-1.66073121	-1.66073121	-1.42711636
224	-1.89711998	-2.1226354	-1.83258146	-1.02165125	-1.89711998	-1.34707365