

RELACIÓN ENTRE EL TAMAÑO DEL CUERPO, DEL CEREBRO Y ALGUNOS LOBULOS CEREBRALES EN GOLDFISH, *Carassius auratus*

Lyda Amparo Cruz¹

Luisa Guayara¹

Nayive Chaparro¹

Martha Obando Bulla²

Edwin Gómez Ramírez²

Daniel Rodríguez Caicedo³

Hernán Hurtado Giraldo^{3,4}

RELATIONSHIP AMONG BODY SIZE, BRAIN AND SOME BRAIN LOBES IN GOLDFISH, *Carassius auratus*

Fecha de recepción: 4 de marzo de 2010

Fecha de aceptación: 20 de mayo de 2010

- 1 Bióloga. Egresada del Programa de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada
2 Biólogo. Especialista en Acuicultura Continental. Candidato a Magíster en Acuicultura. Asistente de Investigación, Grupo de Ictiología, Programa de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada
3 Docente. Programa de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de Ictiología, Universidad Militar Nueva Granada
4 Autor para correspondencia: hernan.hurtado@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Muchas especies de peces presentan un crecimiento continuo a lo largo de su vida, lo cual implica el crecimiento en los diferentes órganos. El presente trabajo determinó la relación entre el incremento de la longitud corporal (longitud estándar y total), la longitud del cerebro y la longitud de algunos lóbulos cerebrales (olfativos, telencéfalo, ópticos y vagales). Se trabajó con 32 individuos mantenidos en un estanque en tierra, 5,10 X 10 X 1,20 m. Los peces se alimentaron diariamente con Truchina® al 45% de proteína y cada 15 días se tomaron variables físico-químicas del agua. Al inicio del proyecto se procesaron seis individuos, los cuales fueron anestesiados con MS-222 (0,5 g/L) y sacrificados por corte transversal a nivel cervical. Se midió la longitud corporal (longitud estándar y total), se extrajeron los cerebros, se midió su longitud total y la de los lóbulos citados. Este mismo procedimiento se realizó dos y cuatro meses después. Las relaciones de tamaño entre las longitudes corporales y cerebrales mostraron uniformidad a lo largo del periodo de muestreo, siendo el tamaño del cerebro el $19,8\% \pm 0,1$ de la longitud estándar del pez. Las relaciones entre la longitud cerebral y la longitud de los lóbulos también fueron estables, siendo el lóbulo óptico el $31,6\% \pm 0,5$, el lóbulo vagal el $25,1\% \pm 0,3$, el telencéfalo el $25,6\% \pm 0,4$ y el lóbulo olfatorio el $13,3\% \pm 0,3$ de la longitud total del cerebro. En *C. auratus* las relaciones de tamaño entre el cuerpo y el cerebro y, entre el cerebro y sus respectivos lóbulos, se establecen relativamente temprano, y se mantienen a pesar del crecimiento de este pez.

Palabras clave: *Carassius auratus*, Goldfish, lóbulos ópticos, lóbulos vagales, lóbulos olfatorios, telencéfalo.

ABSTRACT

Most fish species exhibit continuous growth throughout their life, implying that most organs must also show some growth. The aim of this study was to evaluate the size relationship among body size, brain and some brain regions related to smell, vision and taste. We examined a total of 32 individuals of *Carassius auratus*. Fishes were kept in a reservoir of 5.10 m width, 10 m length, and 1.20 m deep. Fishes were feed daily with Truchina® 45% protein, and every 15 days water physicochemical parameters were measured. At the beginning (day 0), six individuals were taken at random and measured their total body length. The individuals were anaesthetized with MS 222 (0,5 g/L) and sacrificed by means of a transversal cervical section. The brains were exposed and measured its length and the length of some brain regions. The same procedure was carried out 2 and 4 months later. The relationships calculated shows uniformity along the period of sampling, being the brain size about $19,8\% \pm 0,1$ of the standard length of the fish. The relations between brain length and the different brain regions length were constant too, being the optic lobe about $31,6\% \pm 0,5$, the vagal lobe about $25,1\% \pm 0,3$, the telencephalic hemispheres about $25,6\% \pm 0,4$ and the olfactory bulb about $13,3\% \pm 0,3$. In *C. auratus* the size relationship between body and brain and between the brain and the different brain regions

evaluated are established early, and are maintained in spite of body growth of this specie.

Key words: *Carassius auratus*, Goldfish, optic lobes, olfactory lobes, vagal lobes, telencephalon

INTRODUCCIÓN

Carassius auratus (Linnaeus, 1758) conocido popularmente como goldfish, se encuentra entre las seis especies ornamentales de mayor importación en Estados Unidos (Chapman, 1997). En Colombia, *C. auratus* fue introducido como pez ornamental, y en piscicultura se ha utilizado como pez de forraje. Por otro lado, *C. auratus* es una especie que ha sido utilizada en investigación básica en reproducción y mejoramiento genético (Morales *et al*, 2001) donde se han reportado varios trabajos en sistema nervioso (Durán *et al*, 2002; Rodríguez *et al*, 2005; Gómez *et al*, 2006; Nagashima *et al*, 2009, Kobayashi *et al*, 2009).

El crecimiento en la mayoría de los peces se ha descrito como indeterminado, el cual hace referencia al continuo incremento en longitud y volumen a lo largo de su vida, aunque las tasas de crecimiento disminuyen con la edad (Helfman *et al*, 1997). De manera similar, a medida que la cabeza crece, así mismo el cerebro incrementa su tamaño. Tal incremento puede involucrar todas las regiones del cerebro hasta cierto punto (Evans, 1992). Sin embargo, de acuerdo a trabajos neuro-ecológicos realizados en teleósteos hay evidencias que sugieren que estos organismos pueden presentar especializaciones sensoriales, por lo que algunas regiones del cerebro tendrían un tamaño relativamente más grande, o

crecer de manera diferencial (Van Staaden *et al*, 1995; Huber *et al*, 1997; Wagner 2001a, b).

El cerebro de *C. auratus* tiene pocas características que lo diferencian del resto de teleósteos, excepto porque posee grandes lóbulos vagales (Schnitzlein, 1982). Dentro de las regiones cerebrales evaluadas en este estudio se encuentran los bulbos olfatorios, encargados de recibir información concerniente al sentido del olfato y están acompañando varios aspectos como la comunicación social, alimentación y detección de depredadores (Van Staaden *et al*, 1995). Los hemisferios telencefálicos son importantes en la recepción y transmisión de impulsos olfativos (Schilling, 2002). De igual forma, se ha descrito que están implicados en el comportamiento reproductivo, la alimentación, la visión a color, en el aprendizaje y coordinación del nado (Kobayashi *et al*, 2009).

De acuerdo a lo anterior, estos hemisferios son considerados un centro de integración multimodal.

Los lóbulos ópticos están relacionados con la visión, siendo el principal centro visual del cerebro, aunque no sea su única función (Wullimann, 1998). Las inervaciones de los lóbulos vagales o gustativos están confinadas al esófago, al estómago y a las regiones superiores del intestino, particularmente en especies que carecen de estómago como es el caso de *C. auratus* (Wullimann, 1998).

Con el presente estudio, se evaluó la existencia de relaciones entre el incremento de la longitud estándar con la longitud del cerebro y los bulbos olfativos, hemisferios telencefálicos, lóbulos ópticos y lóbulos vagales de *C. auratus* con el fin de determinar cómo el sistema

nervioso central, en este caso el cerebro, se adapta a medida que ocurren cambios en el tamaño corporal del organismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de campo se realizó en la Hacienda Río Grande, estación experimental de la Universidad Militar Nueva Granada, sede Cajicá. Se adecuó un estanque (5,10X1,0 X1,20 m) en tierra al aire libre con un sistema de recirculación de agua. En el estanque se registraron algunos parámetros fisicoquímicos y presentaron los siguientes comportamientos: temperatura ($13 \pm 0,18$ °C), oxígeno disuelto ($4,14 \pm 1,48$ mg/l), fosfatos (1 mg/l), amonio ($0,5 \pm 0,18$ mg/l), nitritos (0 mg/l), nitratos (10 mg/l). En este estanque, se sembraron 135 ejemplares de *C. auratus* obtenidos de una bodega comercial de peces ornamentales. Los peces fueron alimentados dos veces al día con Truchina® al 45% de proteína. La cantidad a suministrar, se determinó con mediciones quincenales de peso de cinco individuos capturados aleatoriamente; y suministrando el porcentaje de concentrado correspondiente.

Obtención de muestras

Se tomaron 100 alevinos de *C. auratus* con un peso inicial de $4,04 \pm 1,09$, longitud estándar de $4,3 \pm 0,38$ y longitud total de $6,85 \pm 1,01$ (tiempo cero), se anestesiaron con 0,5 g/L de MS-222 (metanosulfonato de triclaína) y se sacrificaron por sección medular (Jaramillo *et al*, 2009). Posterior al sacrificio, se tomaron medidas de peso (g), longitud total y estándar (cm).

Posteriormente, los ejemplares fueron decapitados y a la cabeza, se le realizó una incisión para facilitar la entrada del fijador al cerebro. Las cabezas fueron fijadas en formaldehído amortiguado al 4%, pH 7,2-7,4 (preparado a partir de la hidrólisis alcalina del paraformaldehído) y mantenidas durante 15 días a 4°C (Jaramillo *et al*, 2009) Se extrajeron los cerebros

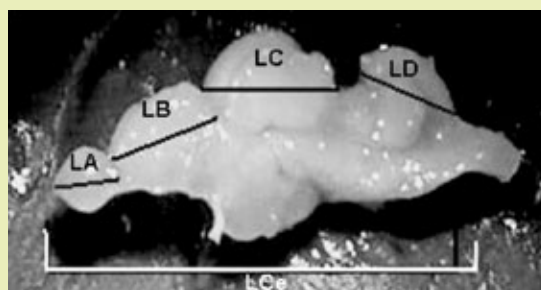


Figura 1. Esquema de medición de la longitud total del cerebro (LCe), el lóbulo olfatorio (LA), hemisferios telencefálicos (LB), tectum óptico (LC) y lóbulo vagal (LD).

y a cada uno se le realizó un corte sagital para separar los lóbulos pareados, obteniendo dos mitades. Este mismo procedimiento, se realizó dos y cuatro meses después con muestras aleatorias de 13 peces cada una.

Digitalización y procesamiento de imágenes

Se realizó la captura de imágenes a 60x de cerebros extraídos mediante un microscopio digital Intel Play QX3. Estas imágenes fueron procesadas con el Software Scion Image PC (2000) de libre distribución en internet (www.scioncorp.com), con el fin de obtener medidas de la longitud total del cerebro, de los lóbulos olfatorios, hemisferios telencefálicos, tectum óptico y lóbulos vagales (Fig. 1).

Análisis estadístico

Relaciones porcentuales

Se hallaron relaciones porcentuales de la longitud estándar del pez respecto a la longitud total del cerebro, así como de la longitud cerebral y de los diferentes lóbulos evaluados. Estas relaciones se realizaron para cada individuo y se promediaron por fecha de muestreo. Adicionalmente, se halló un promedio general tomando todos los datos como un pool.

de la significancia (p), el coeficiente de regresión (R^2) y la pendiente (b).

Las correlaciones de Pearson y las regresiones lineales, se realizaron entre la longitud total y la longitud del cerebro; entre la longitud estándar y la de los lóbulos olfatorios, los hemisferios telencefálicos, el tectum óptico y los lóbulos vagales; también entre la longitud del cerebro con los lóbulos olfatorios, los hemisferios telencefálicos, el tectum óptico y lóbulos vagales.

Las relaciones de tamaño entre la longitud total y estándar en relación a la longitud cerebral mostraron uniformidad a lo largo del periodo de muestreo. Dado que no se presentó una diferencia significativa entre los porcentajes de cada uno de los muestreos ($p > 0.05$), fue posible tomar los datos de los tres muestreos como un pool para obtener las relaciones porcentuales generales, obteniendo, que la longitud cerebral fue el $19,8\% \pm 0,1$ de la longitud estándar del pez.

Correlaciones de Pearson y Regresiones Lineales

Las correlaciones de Pearson se realizaron para determinar la existencia o no de asociación entre las variables evaluadas, tomando en cuenta el coeficiente de correlación y su respectiva significancia (p). Las regresiones lineales se realizaron para predecir o estimar una variable en función de la otra; en este caso, estimar el aumento del cerebro en relación a la longitud estándar del pez, como también el aumento de algunos lóbulos cerebrales en relación al tamaño del cerebro a partir del valor

Las medidas se analizaron a través del programa R de libre distribución en internet (www.R-project.org).

Las correlaciones de Pearson y las regresiones lineales se realizaron a partir de los logaritmos naturales (\ln) de las medidas obtenidas, con el fin de linealizar un modelo originalmente potencial (Calder, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las relaciones de tamaño entre la longitud total y estándar en relación a la longitud

cerebral mostraron uniformidad a lo largo del periodo de muestreo. Dado que no se presentó una diferencia significativa entre los porcentajes de cada uno de los muestreos ($p > 0.05$), fue posible tomar los datos de los tres muestreos como un pool para obtener las relaciones porcentuales generales, obteniendo, que la longitud cerebral fue el $19,8\% \pm 0,1$ de la longitud estándar del pez.

Las relaciones de tamaño entre la longitud cerebral y la longitud de los diferentes lóbulos evaluados también fueron estables durante los muestreos. Debido a que no se presentó una diferencia significativa entre los porcentajes de cada uno de los muestreos ($p > 0,05$), también fue posible tomar los datos de los tres muestreos como un pool para obtener las relaciones porcentuales generales, obteniendo, que la longitud del lóbulo olfatorio fue del $13,3 \pm 0,5\%$, la longitud del hemisferio telencefálico del $25,6 \pm 0,3\%$, la longitud de los lóbulos ópticos $31,6 \pm 0,4\%$ y la longitud del lóbulo vagal del $25,1 \pm 0,3\%$ de la longitud del cerebro del pez.

De acuerdo a lo anterior, la longitud del cerebro del *C. auratus* estaría representada en mayor medida por la longitud de los lóbulos ópticos, seguido de los hemisferios telencefálicos y los lóbulos vagales, y en menor medida por la longitud de los bulbos olfatorios en el tiempo de seguimiento de este estudio. Según algunas investigaciones con especies de ciprínidos, gádidos y cíclidos el tamaño relativo de las áreas cerebrales es un indicativo confiable para predecir su importancia relativa (Kotrschal et al, 1998; Wagner, 2001a, b).

Aunque se ha descrito que peces con grandes centros gustativos presentan adaptaciones

independientes a ambientes particulares como los bénticos, donde las entradas táctiles o quimiosensoriales tienen mayor importancia que la visión (Kotrschal et al, 1998), los resultados de este estudio sugieren que en *C. auratus* tanto la visión como el gusto presentan una mayor importancia relativa con respecto al sentido del olfato. Esto se corrobora teniendo en cuenta que las especies pertenecientes al orden Cipriniforme, en este caso *C. auratus*, presenta una hipertrofia de los centros gustativos en este caso los lóbulos vagales, evidenciando una especialización para el sentido del gusto, aunque la percepción del gusto se realiza intraoral, es decir al interior de la boca especialmente en el órgano palatal, mientras que en el grupo de los Siluriformes se ha desarrollado como centro gustativo los lóbulos faciales, los cuales están especializados en recibir señales gustativas extraorales por medio de las barbas o barbillones los cuales están densamente poblados por botones gustativos (Wullimann et al, 1996).

En cuanto a los lóbulos ópticos, ($31,6 \pm 0,4\%$) fue la estructura de mayor tamaño, esta estructura cerebral es el principal centro visual de los peces teleósteos recopilando y procesando información visual concerniente con el movimiento, forma y color (Wullimann et al, 1996). Sin embargo, los lóbulos ópticos no sólo están involucrados con la visión, de acuerdo con experimentos comportamentales realizados en *C. auratus* esta estructura cumple funciones en la orientación del organismo (Torres et al, 2005) y la coordinación del nado (Kobayashi et al, 2009).

La diferencia entre los porcentajes de los lóbulos olfatorios respecto a los lóbulos

ópticos demuestra que generalmente se presenta una oposición entre el sentido del olfato y el visual (Ridet y Bauchot, 1990). Adicionalmente Huber et al, (1997) en su trabajo realizado en Ciclidos encontró una correlación entre el tamaño de los bulbos olfatorios y el hábito alimenticio, donde los peces zooplantívoros e insectívoros tenían un menor tamaño de bul-

mientras disminuyen de tamaño en peces que explotan ambientes abisales (Huber et al, 1997). Así mismo, los hemisferios telencefálicos reciben en su área dorsomedial estímulos auditivos, gustativos y somatosensoriales, además de recibir y transmitir impulsos olfativos (Schilling, 2002). Lo anterior los convierte en un centro de asociación multimodal para funciones comporta-

Es importante señalar que, en términos evolutivos, la tendencia a nivel cerebral es incrementar cada vez más la importancia relativa de los hemisferios telencefálicos, con relación a las demás estructuras, debido a su participación en funciones complejas como las citadas anteriormente, siendo particularmente interesante la función cognoscitiva como la memoria a corto plazo reportada para *C. auratus*.

bos olfatorios mientras los peces carnívoros o piscívoros tenían estas estructuras de mayor tamaño. Esto coincide con lo encontrado en *C. auratus* donde los bulbos olfatorios fueron proporcionalmente la estructura cerebral de menor tamaño ($13,3 \pm 0,5\%$), y coincide con los hábitos alimenticios de omnívoro con tendencia a la herbívora reportados para *C. auratus* (Rodríguez et al, 2005).

En *C. auratus*, el porcentaje obtenido de los hemisferios telencefálicos ($25,6 \pm 0,3\%$) fue el segundo valor más alto, esto se debe posiblemente a que estas estructuras son de mayor tamaño en especies de peces que habitan ambientes poco profundos como es el caso de *C. auratus*

les relacionadas con alimentación, reproducción, y agresión (Demski, 1983); participando también en procesos cognoscitivos, de memoria, aprendizaje espacial y condicionamiento emocional (Gómez et al, 2006; Salas et al, 2003).

Es importante señalar que, en términos evolutivos, la tendencia a nivel cerebral es incrementar cada vez más la importancia relativa de los hemisferios telencefálicos, con relación a las demás estructuras, debido a su participación en funciones complejas como las citadas anteriormente, siendo particularmente interesante la función cognoscitiva (Butler y Hodos, 1996) como la memoria a corto plazo reportada para *C. auratus* (Ohnishi, 1997).

VARIABLES	r	p	Intervalos de Confianza
LS - LCe	0,59	3,13e-4	0,3130965 – 0,7825389
LS – LA	0,63	2,60e-3	0,2684378 - 0,8413865
LS – LB	0,56	7,89e-4	0,2669863 - 0,7622353
LS – LC	0,60	2,56e-4	0,3225192 – 0,7865687
LS - LD	0,51	2,71e-3	0,1992723 – 0,7305412
LCe – LA	0,74	1,47e-4	0,4573203 – 0,8946279
LCe - LB	0,51	2,84e-3	0,1968058 – 0,7293418
LCe – LC	0,47	6,22e-3	0,1492487 - 0,7055588
LCe - LD	0,63	9,32e-05	0,3683831 – 0,8056345

Tabla 1. Coeficientes de Correlación de Pearson. (r), valores de significancia (p) e intervalos de confianza. Longitud del lóbulo olfatorio (LA), hemisferios telencefálicos (LB), tectum óptico (LC), longitud cerebral (LCe), lóbulo vagal (LD), longitud estándar del pez (LS).

Los coeficientes de correlación de Pearson mostraron relación entre todas las variables evaluadas: longitud estándar con longitud cerebral, la longitud estándar con la longitud de cada una de las regiones cerebrales evaluadas y la longitud cerebral con cada una de las regiones cerebrales evaluadas (Tabla 1).

Los ajustes obtenidos con las regresiones lineales fueron en general bajos teniendo en cuenta que los coeficientes de regresión R^2 estuvieron por debajo de 0,35; indicando que no hay una relación estrecha entre las variables evaluadas.

De acuerdo con lo anterior y según lo reportado por Fernald (2003) y Helfman *et al.* (1997) el crecimiento de los órganos de los sentidos y las funciones motoras, se mantienen durante los cambios en el tamaño corporal. Sin embargo, se ha reportado que la tasa de crecimiento no es uniforme, dependiendo críticamente de la situación social y factores como temperatura, disponibilidad de alimento y disponibilidad de nutrientes (Kapoor y Khana, 2004).

En este estudio aunque las pruebas de correlación mostraron relación entre un aumento de la longitud corporal (longitud estándar y total) con aumento del cerebro y de las regiones evaluadas, las pruebas de regresión mostraron una baja asociación entre éstas, lo que podría indicar que el aumento en la longitud estándar no es la variable más pertinente para explicar el crecimiento del cerebro ni el crecimiento de las estructuras cerebrales. Esto concuerda con lo reportado por Glenn (2002) en donde “el cambio en el tamaño corporal no ha sido una presión de selección para el cambio en el tamaño del cerebro”. Se podría pensar, entonces, en otras variables tales como el ambiente donde se desarrolla la especie, así como las características que éste presenta: de acuerdo a algunos estudios realizados en peces (Kotrschal *et al.*, 1998) aspectos ecológicos y comportamentales están relacionados con la morfología del cerebro; por lo que cambios en la demanda de hábitat, preferencias en la dieta, tipo de sustrato y profundidad del agua alteran el tamaño de las regiones que lo componen (Kotrschal *et al.*, 1998; Wagner, 2001a, b).

En conclusión, podría decirse que hay una relación entre el crecimiento corporal y el crecimiento del cerebro, así como con los diferentes lóbulos evaluados; así mismo, el tamaño relativo de las estructuras cerebrales indica una proporción similar entre el tectum óptico, los lóbulos vagales, y los hemisferios telencefálicos, por lo que *C. auratus* utilizaría varias estrategias sensoriales para explorar su hábitat. Por otro lado, las relaciones de tamaño entre el cuerpo y el cerebro y, entre este último y sus respectivos lóbulos se establecen

relativamente temprano en esta especie y se mantienen durante el periodo de muestreo, indicando que al menos en ese rango de tiempo *C. auratus* no altera sus estrategias de interacción con el ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo financiero por parte de la Universidad Militar Nueva Granada al proyecto CIAS-2004 011.

BIBLIOGRAFIA

1. Butler AB Hodos W. 1996. Comparative vertebrate neuroanatomy. Evolution and adaptation. Wiley-Liss. New York. USA, 489 p.
2. Calder W. 1996. Size, function and life history. Ed. Dover Publications, Inc. New York, 260-284 p.
3. Chapman.1997. F.A.O. United States of America Trade in Ornamental Fish. J. World Aquaculture Soc. (U.S.A.), 28:1-10.
4. Demski S. 1983. Behavioral effects of electrical stimulation of the brain. En: Van Staaden M, Huber R, Kaufman L y Liem F. Brain Evolution in Cichlids of the American Great Lakes: Brain and Body Size, General Patterns, and Evolutionary Trends. Zoology, Germany, 98:165-178.
5. Durán E, Ocaña F, Gómez A, Álvarez E, Jiménez F, Broglio C, Rodríguez F y Salas E. 2002. Place learning and hippocampal pallium in teleost fish. Brain Behavior and Evolution, Switzerland, 60:59-64
6. Evans D. 1992. Anatomy, genetics and breeding. Anatomy of tropical fishes. En: Gratzek J, Matthews J. (eds). Aquarology. The Science of Fish Health Management. Ed. Tetra Press, New York, 71-93 p.
7. Fernald D. 2003. How does behaviour change the brain? Multiple methods to answer old questions. Integrative and Comparative Biology, 43:771-779.
8. Gómez Y, Vargas J, Portavella M y López J. 2006. Spatial learning and goldfish telencephalon NMDA receptors. Neurobiology of Learning and Memory, 85:252-262.
9. Glenn R. 2002. Understanding vertebrate brain evolution. Integrative and Comparative Biol, 42:743-756.
10. Helfman G, Collete B y Facety D. 1997. The diversity of fishes. Ed. Blackwell Science, Inc, U.S.A, 141-146 p.
11. Huber R, Van Staaden M, Kaufman L y Liem K. 1997. Microhabitat use, trophic Patterns, and the evolution of brain structure in African Cichlids. Brain Behavior and Evolution, Switzerland, 50:167-182.
12. Jaramillo J, Gómez-Ramírez E, Caldas M, Rodríguez D y Hurtado H. 2009. Histology and morphometry of dorsal root ganglio and their neurons in a fish of indeterminate growth the white cachama (*Piaractus brachypomus*). Actual. Biol. 31:43-52
13. Kapoor BG y Khanna B. 2004. Ichthyology Handbook. Springer-Verlag. New Delhi, India.
14. Kotschal K, Van Staaden M y Huber R. 1998. Fish brain: evolution and environmental relationships. Review in Fish Biology and Fisheries Netherlands, 8:373-408.
15. Kobayashi N, Yoshida M, Matsumoto N, Uematsu K.2009. Artificial control of swimming in goldfish by brain stimulation: confirmation

- of the midbrain nuclei as the swimming center. *Neuroscience Letters* 452: 42–46.
16. Morales R, Herrera M, Arenal A, Cruz A, Hernández O, Pimentel R, Guillén I, Martínez R y Estrada M. 2001. Tilapia chromosomal growth hormone gene expression accelerates growth in transgenic zebrafish (*Danio rerio*). *Electronic J. of Biotechnology*, 4:1-7.
 17. Nagashima M, Sakurai H, Mawatari K, Koriyama Y, Matsukawa T y Kato S. 2009. Involvement of retinoic acid signaling in goldfish optic nerve regeneration. *Neurochemistry International*, U.S.A, 54: 229–236.
 18. Ohnishi K. 1997. Effects of telencephalic ablation on short-term memory and attention in goldfish. *Behavioural Brain Research* 86:191–199.
 19. Ridet J y Bauchot R. 1990. Quantitative analysis of the teleost brain: evolutionary and adaptive features of encephalization. II. Primary brain subdivision. *J. Hirnforschung*, Germany, 31:433-58.
 20. Rodríguez L, Bonilla JB, Rodríguez D, Hernán Hurtado. 2005. Organización histológica y definición preliminar de tipos celulares del intestino de goldfish (*Carassius auratus*) Colombia, *Revista Facultad De Ciencias Básicas* 1: 78 – 80
 21. Rodríguez F, Durán E, Gómez A, Ocaña F, Álvarez E, Jiménez-moya F, Broglio C y Salas C. 2005. Cognitive and emotional functions of the teleost fish cerebellum. *Brain Research Bulletin*, 66: 365-370
 22. Salas C, Broglio C y Rodríguez F. 2003. Evolution of forebrain and spatial cognition in vertebrates: Conservation across diversity. *Brain, behavior and evolution*, Switzerland, 62:72-82.
 23. Schnitzlein N. 1982. Telencephalon of fishes. En: Crosby C y Schnitzlein N (eds.) *Comparative correlative neuroanatomy of the vertebrate telencephalon*. Ed. Macmillan Publishing Co., Inc, New York, 3-160 p.
 24. Schilling F. 2002. The Morphology of larval and adult zebrafish. En: Nüsslein-Volhard C, Dahm R. (eds). *Zebrafish*. Ed. Oxford University Press Inc, U.S.A, 59-94 p.
 25. Torres B, Luque A, Pérez-Pérez P y Herrero L. 2005. Visual orienting response in goldfish: a multidisciplinary study. *Brain Res. Bull*, United Kingdom, 66:376-380.
 26. Van Staaden M, Huber R, Kaufman S y Liem F. 1995. Brain evolution in Cichlids of the American Great Lakes: Brain and body size, general patterns, and evolutionary trends. *Zoology*, 98:165-178.
 27. Wagner H. 2001a. Sensory brain areas in mesopelagic fishes. *Brain Behavioral and Evolution*, Switzerland, 57:117-133.
 28. Wagner H. 2001b. Brain Areas in Abyssal Demersal Fishes. *Brain Behavioral and Evolution*, 57:301-316.
 29. Wullimann M. 1998. The Central Nervous System. En: Evans D. (ed.). *The Physiology of Fishes*. Ed. CRC Press, U.S.A, 245-285 p.
 30. Wullimann M.F, Rupp B. and Reichert, H. 1996. *Neuroanatomy of the zebrafish brain*. Basel: Birkhauser. Germany, 144p

CONSULTA VIRTUAL

31. Scion Corporation. <http://www.scioncorp.com/>. 15.Mar. 2008.
32. The R Project for Statistical Computing. www.R-project.org. 28. Jul. 2008.