

# Descripción Morfométrica de la Anatomía Externa e Interna del *Ambystoma mexicanum*

## Morphometric Description of the External and Internal Anatomy of *Ambystoma mexicanum*

Daniela Alexia Ramírez-Macal<sup>1</sup>; María del Rocío Conzuelo-Sierra<sup>1</sup>; Alfredo Salazar-de Santiago<sup>2</sup>; Alejandro Chávez-Ríos<sup>3</sup>; Isabel De Velasco-Reyes<sup>1</sup> & Juan Manuel Díaz<sup>1,4</sup>

---

RAMÍREZ-MACAL, D. A.; CONZUELO-SIERRA, M. R.; SALAZAR-DE SANTIAGO, A.; CHÁVEZ-RÍOS, A.; DE VELASCO-REYES, I. & DÍAZ, J. M. Descripción morfométrica de la anatomía externa e interna del *Ambystoma mexicanum*. *Int. J. Morphol.*, 40(2):401-406, 2022.

**RESUMEN:** El *Ambystoma mexicanum* o comúnmente llamado axolote, es un anfibio miembro del género *Ambystoma* que comprende 32 especies presentes desde el sur de Canadá hasta la región central de México. Actualmente esta especie se encuentra en peligro de extinción debido a cambios fisicoquímicos en su medio ambiente y la depredación por organismos introducidos en su hábitat. Dentro de las múltiples estrategias para su conservación se encuentran el desarrollo de programas de investigación, educación y desarrollo del manejo clínico. El objetivo del presente trabajo estuvo enfocado en obtener y analizar datos morfométricos acompañados por una descripción de la anatomía externa e interna de la especie *Ambystoma mexicanum* con el propósito de contribuir a su conservación. Por lo anterior, cinco ejemplares de la especie *Ambystoma mexicanum* de 2 años, criados en cautiverio, fueron estudiados para obtener valores morfométricos externos e internos utilizando un calibrador vernier, balanzas analíticas y rayos X. Los resultados de la observación externa mostraron el dimorfismo sexual característico de estas especies presentes en la zona peri cloacal, además, el análisis radiográfico permitió observar y señalar algunas estructuras óseas del esqueleto axial y apendicular. Los ejemplares presentaron un peso promedio de 31,6 g y una longitud de 15,7 cm. Los miembros anteriores mostraron una longitud de 2,92 cm y 2,8 cm en los miembros posteriores. El análisis de los órganos internos mostró que el corazón tiene un peso de 0,036 g y una longitud de 0,75 cm, los pulmones un peso de 0,019 g y una longitud de 2,6 cm, el estómago arrojó una longitud de 4,86 cm y el intestino 10,88 cm. En conclusión, los valores presentados en el presente trabajo sirven de referencia en futuros trabajos de investigación clínica veterinaria y manejo zootécnico del axolote para su conservación y preservación.

**PALABRAS CLAVE:** *Ambystoma mexicanum*; Anatomía veterinaria; Anatomía Interna; Anatomía externa; Rayos X.

---

## INTRODUCCIÓN

El *Ambystoma mexicanum* o comúnmente llamado axolote, es un anfibio miembro del género *Ambystoma* que comprende 32 especies presentes desde el sur de Canadá hasta la región central de México. El axolote fue establecido como un organismo modelo desde hace más de 100 años y actualmente es uno de los más estudiados en el área de la biología del desarrollo debido a la notable regeneración tisular que presenta (Caballero-Pérez *et al.*, 2018). En México se han identificado 17 especies endémicas diferentes del género *Ambystoma*, una de ellas es el *Ambystoma mexicanum*.

Actualmente esta especie se encuentra en peligro de extinción debido a los cambios fisicoquímicos en su medio ambiente, depredación por organismos introducidos en su hábitat, enfermedades de origen microbiológico y nutricional (Farkas & Monaghan, 2015; Takami & Une, 2017). Lo anterior expresa la necesidad de generar conocimientos que sumen para su preservación y conservación. Diversos esfuerzos se han establecido a nivel mundial con el fin de dilucidar sus aspectos anatómicos y fisiológicos, ambiente óptimo de desarrollo, ciclo y métodos de reproducción, en-

<sup>1</sup> Laboratorio de Medicina Veterinaria, Universidad Cuauhtémoc Aguascalientes, Aguascalientes, México.

<sup>2</sup> Unidad Académica de Odontología, Área de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.

<sup>3</sup> Unidad de Morfología y Función, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

<sup>4</sup> Unidad Médico Didáctica, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México.

tre otros. Para su conservación, algunos datos sobre su mantenimiento y desarrollo son conocidos, como la temperatura ambiente de 10 °C a 20 °C, pH en agua de entre 6,5 – 8, oxígeno disuelto  $\geq 80$  %, concentración de  $\text{CO}_2 < 5$  mg/l y niveles de amoníaco no mayores a 0,1 mg/l (Mena Gonzales & Servín Zamora, 2014). Clínicamente se conoce que las enfermedades que afectan más frecuentemente a este organismo son las referidas a patologías cutáneas (28,4 %), gastrointestinales (7,8 %), urogenitales (6,0 %), neurológicas (2,6 %), oftalmológicas (1,7 %), afecciones musculoesqueléticas (0,9 %) (Takami & Une). En la actualidad, se cuenta con poca información sobre los distintos aspectos de dicho organismo en un contexto médico veterinario que sumen datos orientados a su preservación. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue aportar datos morfométricos acompañados por una descripción de la anatomía externa e interna de la especie *Ambystoma mexicanum* con el propósito de contribuir con información a la comprensión y conservación de esta especie.

## MATERIAL Y MÉTODO

El proyecto de investigación fue revisado y aprobado por el comité de ética de la Universidad Cuauhtémoc campus Aguascalientes (P1-CEI-10/21-EV/UCA) y siguiendo los principios de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014. Dos ejemplares machos y tres hembras, de la especie *Ambystoma mexicanum* de 2 años, fueron donados por la asociación “yo por un ajolote” (México), preservados previamente en formaldehído 10 %. Los ejemplares fueron analizados externamente con el fin de obtener distintos valores morfométricos del esqueleto axial y apendicular (Fig. 1) (Dorantes-Coronado *et al.*, 2015), las mediciones fueron realizadas utilizando un calibrador vernier

digital (Steren ®, México) y los pesos de los ejemplares fueron obtenidos usando una balanza analítica electrónica (Velab ®, USA) (Nicolino *et al.*, 2018; Kirbas-Dogan *et al.*, 2021). Las imágenes mostradas en este estudio fueron capturadas utilizando una cámara digital Canon ® T6i réflex. Por otra parte, se realizaron estudios radiográficos de los ejemplares en proyecciones laterolateral izquierda derecha y ventro-dorsal utilizando un equipo de rayos X MSL modelo MSLVX17 (MSL ®, China); las imágenes fueron digitalizadas y analizadas para su estudio con el programa dicomPACS®DX-R (Santos-Santos *et al.*, 2019). Los valores morfométricos de órganos internos provenientes de los distintos sistemas se realizaron mediante una incisión longitudinal desde la sínfisis mandibular hasta el pubis. Los datos cuantitativos del presente estudio fueron analizados utilizando las medidas de tendencia central con el paquete de datos Graph Pad Prism 8.0.

## RESULTADOS

La observación externa de los ejemplares machos y hembras de *Ambystoma mexicanum*, demostró el dimorfismo sexual característico de esta especie en la zona pericloaca (Fig. 2), la cual presenta una hiperplasia en el macho en comparación con la hembra. Posteriormente al análisis externo de los especímenes (Fig. 3A,D) se realizó la obtención y tabulación de los valores morfométricos externos de los cinco ejemplares de la especie cuyos resultados se muestran en la Tabla I.

Las imágenes radiográficas de los ajolotes permitieron observar la integridad ósea de un organismo sano (Fig. 3B,C), identificando distintas estructuras pertenecientes al esqueleto axial y esqueleto apendicular (flechas blancas).

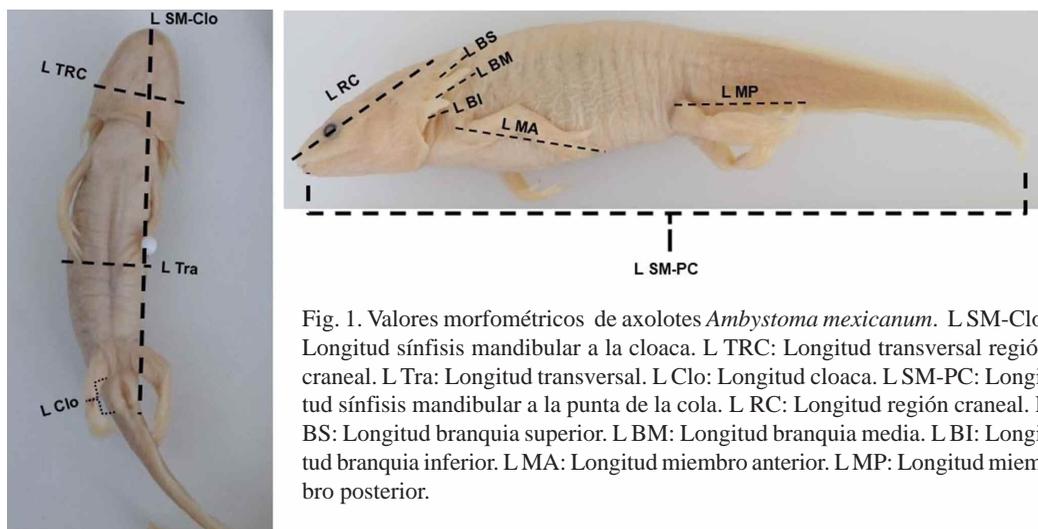


Fig. 1. Valores morfométricos de axolotes *Ambystoma mexicanum*. L SM-Clo: Longitud sínfisis mandibular a la cloaca. L TRC: Longitud transversal región craneal. L Tra: Longitud transversal. L Clo: Longitud cloaca. L SM-PC: Longitud sínfisis mandibular a la punta de la cola. L RC: Longitud región craneal. L BS: Longitud branquia superior. L BM: Longitud branquia media. L BI: Longitud branquia inferior. L MA: Longitud miembro anterior. L MP: Longitud miembro posterior.

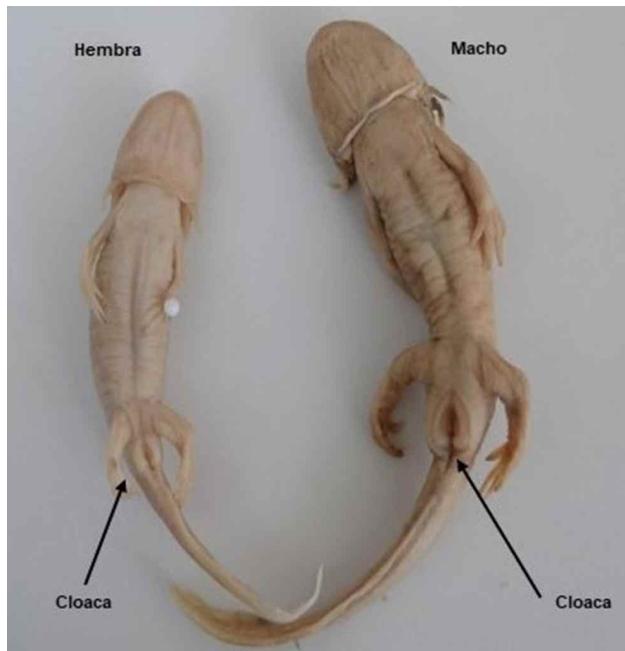


Fig. 2. Dimorfismo sexual del *Ambystoma mexicanum*. Se observa (flecha negra) la hiperplasia en la región externa de la cloaca característica en los ejemplares machos.

El análisis morfométrico de los órganos internos de los ejemplares de *Ambystoma mexicanum*, se muestran en la Tabla II. Por último, en la Figura 4 se observan las estructuras anatómicas (flechas negras) de pulmones, corazón, hígado, bazo, aparato gastrointestinal, así como los órganos reproductivos de los ejemplares.

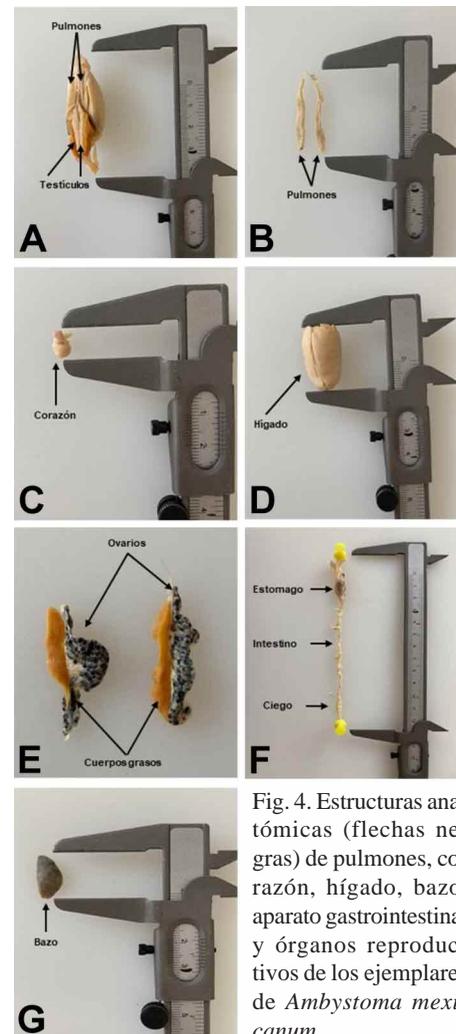


Fig. 4. Estructuras anatómicas (flechas negras) de pulmones, corazón, hígado, bazo, aparato gastrointestinal y órganos reproductivos de los ejemplares de *Ambystoma mexicanum*.

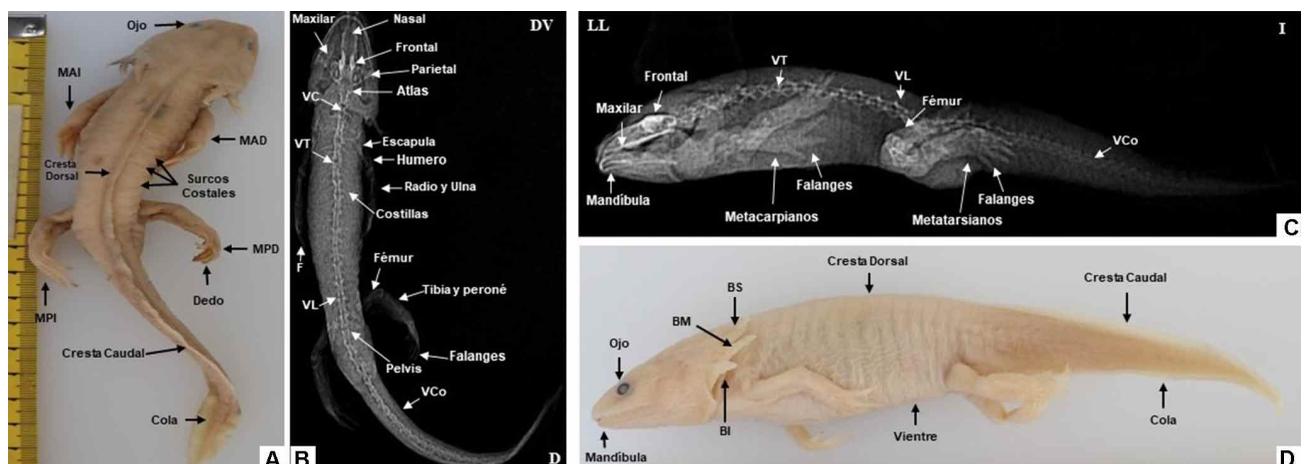


Fig. 3. Estructuras anatómicas externas y análisis radiográfico de la especie *Ambystoma mexicanum*. (A) visualización dorsoventral de estructuras del esqueleto apendicular y la cola (Flechas negras), MAI: Miembro anterior izquierdo, MAD: Miembro anterior derecho, MPI: Miembro posterior izquierdo, MPD: Miembro posterior derecho. (B) Proyección radiográfica dorsoventral, en la figura se señalan distintas estructuras anatómicas (flechas blancas), pertenecientes al esqueleto axial y apendicular del ejemplar. VC: Vértebras cervicales, VT: Vértebras torácicas, VL: Vértebras lumbares, VCo: Vértebras coccígeas, F: Falange. (C) Proyección radiográfica laterolateral izquierda-derecha.

Tabla I. Valores morfométricos externos del axolote *Ambystoma mexicanum*.

Parámetros Evaluados	Macho 1	Macho 2	Hembra 1	Hembra 2	Hembra 3	Promedio	Desviación Estándar
Peso	43,0 g	32,0 g	25,0 g	30,0 g	28,0 g	31,60 g	6,88 g
Longitud sínfisis mandibular a punta de la cola (L SM-PC)	19,0 cm	16,0 cm	14,5 cm	14,5 cm	14,5 cm	15,70 cm	1,96 cm
Longitud sínfisis mandibular a cloaca (L SM-Clo)	10 cm	8,0 cm	8,0 cm	8,0 cm	7,5 cm	8,30 cm	0,97 cm
Longitud región craneal (LRC)	3,2 cm	3,2 cm	3,1 cm	3,0 cm	2,9 cm	3,08 cm	0,13 cm
Distancia entre bulbos oculares	1,2 cm	1,0 cm	1,0 cm	1,2 cm	1,0 cm	1,08 cm	0,11 cm
Longitud trasversal región craneal (L TRC)	2,0 cm	1,6 m	1,4 cm	2,0 cm	1,6 cm	1,72 cm	0,27 cm
Longitud transversal (L Tra)	2,4 cm	2,5 cm	2,0 cm	2,5 cm	2,4 cm	2,36 cm	0,21 cm
Longitud branquias superiores (L BS)	0,6 cm	0,9 cm	0,7 cm	0,6cm	0,6 cm	0,68 cm	0,13 cm
Longitud branquias medias (L BM)	0,8 cm	1,1 cm	1,0 cm	0,7 cm	0,7 cm	0,86 cm	0,18 cm
Longitud branquias inferiores (L BI)	0,9 cm	1,2 cm	1,0 cm	0,7 cm	0,9 cm	0,94 cm	0,18 cm
Longitud de miembro anterior (L MA)	3,2 cm	2,9 cm	2,8 cm	3,1 cm	2,6 cm	2,92 cm	0,24 cm
Longitud de miembro posterior (L MP)	3,5 cm	2,8 cm	2,7 cm	2,7 cm	2,7 cm	2,88 cm	0,35 cm
Longitud cloaca (L Clo)	1,3 cm	1,0 cm	0,8 cm	0,8 cm	0,6 cm	0,90 cm	0,26 cm

Tabla II. Valores zoométricos de órganos internos del axolote *Ambystoma mexicanum*.

Parámetros Evaluados	Macho 1		Macho 2		Hembra 1		Hembra 2		Hembra 3		Promedio Peso	Desviación Estándar Peso	Promedio Longitud	Desviación Estándar Longitud
	Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud				
Corazón	0,011 g	0,85 cm	0,030 g	0,80 cm	0,030 g	0,70 cm	0,031 g	0,90 cm	0,051 g	0,50 cm	0,036 g	0,02 g	0,75 cm	0,16 cm
Pulmón izquierdo	0,029 g	4,1 cm	0,13 g	2,2 cm	0,33 g	2,2cm	0,32 g	1,3 cm	0,15 g	3,4 cm	0,19 g	0,14 g	2,64 cm	1,11 cm
Estómago	0,065 g	3,6 cm	0,051 g	8,7 cm	0,090 g	3,4cm	0,089 g	3,5 cm	0,062 g	5,1 cm	0,0714 g	0,03 g	4,86 cm	2,26 cm
Intestino	0,43 g	8,5 cm	0,25 g	8,7 cm	1,9 g	16 cm	0,26 g	10,7 cm	0,25 g	10,4 cm	0,618 g	0,69 g	10,86 cm	3,04 cm
Ovario izquierdo	X	X	X	X	2,02 g	2,5cm	0,27 g	3,1 cm	0,49 g	3 cm	0,556 g	0,91 g	1,72 cm	0,32 cm
Ovario derecho	X	X	X	X	1,5 g	3 cm	0,27 g	2,8 cm	0,57 g	2,9 cm	0,468 g	0,65 g	1,74 cm	0,10 cm
Testículos	0,031 g	2,3 cm	0,020 g	2,4 cm	x	x	X	X	X	X	0,0102 g	0,01 g	0,94 cm	0,07 cm
Hígado	3,9 g	4,5 cm	3 g	3,1 cm	2,94 g	1,1cm	4,3 g	2,8 cm	2,49 g	3,9 cm	3,326 g	1,51 g	3,08 cm	1,29 cm
Bazo	0,019 g	1,9 cm	0,024 g	1,8 cm	0,017 g	0,6cm	0,027 g	2,3 cm	0,042 g	0,9 cm	0,0258 g	0,01 g	1,5 cm	0,70 cm

## DISCUSIÓN

Actualmente más de un millón de especies de plantas y animales se encuentran en peligro de extinción a raíz principalmente de las alteraciones generadas por actividad del ser humano (Tollefson, 2019). El *Ambystoma mexicanum* es un organismo que se encuentra dentro de las especies amenazadas a nivel mundial debido a cambios fisicoquímicos en su medio ambiente, así como en su ecosistema (Robles-Mendoza *et al.*, 2009; Voss *et al.*, 2015; Takami & Une). Dentro de las múltiples estrategias para su conservación se encuentran el desarrollo de programas de investigación, educación y desarrollo del manejo clínico, que aporten datos que contribuyan a disminuir a la falta de información y herramientas en esta especie (Olascoaga-Elizarraraz *et al.*, 2021).

Esta investigación presenta los resultados de diferentes parámetros morfométricos de la especie *Ambystoma*

*mexicanum*, de su anatomía externa e interna, apoyados con estudios radiográficos que aportan información adicional. Las diferentes técnicas morfométricas aplicadas en las ciencias biológicas tienen como objetivo el análisis cuantitativo del tamaño y la forma de un organismo o un órgano y es, comúnmente, utilizado para caracterizar las diferencias entre las poblaciones o entre la misma especie cuando se presenta un estado alterado de la salud (Ashburner & Ridgway, 2015; Dujardin, 2017).

Diversas investigaciones en la rama de la biología celular, tisular, genética y embriológica utilizan al axolote como uno de los principales modelos de estudio, encontrándose mucha información (Ponomareva *et al.*, 2015). Sin embargo, son pocos los estudios anatomo-morfológicos que permitan apoyar el conocimiento de la especie desde un punto de vista clínico y de desarrollo.

Gresens (2004) mencionó que los axolotes adultos pueden alcanzar un largo de 30 cm y un peso de entre 125 g y 180 g; nuestros resultados arrojaron una longitud promedio de 15,70 cm, así como un peso de 31,60 g. Los datos reportados contrastan entre sí con los obtenidos en el presente estudio, lo cual se puede deber al origen y desarrollo de nuestros ejemplares, ya que se realizaron en condiciones controladas de conservación de la especie y, por ende, se observó una reducción en su peso y tamaño de al menos la mitad de los valores reportados en otros estudios. En lo que respecta a los resultados del análisis del esqueleto axial y apendicular de los organismos, permiten generar un precedente en esta área; así como en los datos obtenidos provenientes del estudio de las estructuras internas de la especie.

Desde un punto de vista clínico-veterinario, es indispensable contar con valores morfométricos que apoyen en la comparación primaria de un paciente sano con un paciente que se encuentre en un proceso de patológico de diversa naturaleza como puede ser nutricional, metabólica, infecciosa, inmunológica, hormonal, etc. (Takami & Une; Demircan *et al.*, 2018). La identificación de valores normales externos, internos y radiográficos del *Ambystoma mexicanum* es información que apoya en el campo de la medicina veterinaria, zootecnia y a la biología para la conservación de la especie debido a su alto riesgo de extinción.

En conclusión, los resultados obtenidos derivados del análisis morfométrico de los ejemplares de dos años que fueron mantenidos y desarrollados en cautiverio pueden servir de referencia en futuros trabajos y/o en la clínica veterinaria y manejo zootécnico del axolote.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Médico Veterinario Especialista, Roberto Ramírez Hernández, por su invaluable apoyo técnico en el desarrollo de la presente investigación.

---

**RAMÍREZ-MACAL, D. A.; CONZUELO-SIERRA, M. R.; SALAZAR-DE SANTIAGO, A.; CHÁVEZ-RÍOS, A.; DE VELASCO-REYES, I. & DÍAZ, J. M.** Morphometric description of the external and internal anatomy of *Ambystoma mexicanum*. *Int. J. Morphol.*, 40(2):401-406, 2022.

**SUMMARY:** The *Ambystoma mexicanum* commonly known as axolotl, is an amphibian and member of the genus *Ambystoma* which includes 32 species that can be found from southern Canada to central Mexico. Currently this species is in danger of extinction due to physicochemical changes in its environment and predation by organisms introduced into its habitat.

Among the multiple strategies to aid in its conservation are the development of research programs, education and development of clinical management. The objective of this work is focused on obtaining and analyzing morphometric data accompanied by a description of the external and internal anatomy of the species *Ambystoma mexicanum* with the purpose of contributing to the conservation of this species. Therefore, five 2-year-old specimens of the *Ambystoma mexicanum* species, raised in captivity, were studied to obtain external and internal morphometric values using a vernier caliper, analytical balances and X-rays. The results of external observation showed the characteristic sexual dimorphism of these species present in the pericloacal zone. Furthermore, the radiographic analysis allowed to observe and point out some bony structures of the axial and appendicular skeleton. The specimens presented an average weight of 31.60 g and a length of 15.70 cm. The forelimbs showed a length of 2.92 cm and 2.8 cm in the hindlimbs. Analysis of the internal organs showed that the heart had a weight of 0.036 g and a length of 0.75 cm, the lungs a weight of 0.019 g and a length of 2.6 cm, the stomach had a length of 4.86 cm and the intestine 10.88 cm. In conclusion, the values presented in this work serve as a reference for future veterinary clinical research and zootechnical management of the axolotl for its conservation and preservation.

**KEY WORDS:** *Ambystoma mexicanum*; Veterinary anatomy; Internal Anatomy; External Anatomy; X-rays.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashburner, J. & Ridgway, G. Tensor-based morphometry. *Brain Mapp.*, 383-394, 2015.
- Caballero-Pérez, J.; Espinal-Centeno, A.; Falcon, F.; García-Ortega, L.; Curiel-Quesada, E. & Cruz-Hernández, A. Transcriptional landscapes of Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Dev. Biol.*, 433(2):227-39, 2018.
- Dorantes-Coronado, E.; Torres-Hernández, G.; Hernández-Mendo, O. & Rojo-Rubio, R. Zoometric measures and their utilization in prediction of live weight of local goats in southern México. *Springerplus*, 4(1):695, 2015.
- Dujardin, J. P. 13 - Modern Morphometrics of Medically Important Arthropods. In: Tibayrenc, M. (Ed.). Genetics and Evolution of Infectious Diseases. 2nd ed. Amsterdam, Elsevier, 2017. pp.285-311.
- Farkas, J. E. & Monaghan, J. R. Housing and maintenance of *Ambystoma mexicanum*, the Mexican axolotl. *Methods Mol. Biol.*, 1290:27-46, 2015.
- Gresens, J. An introduction to the Mexican Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Lab. Anim.*, 33(9):41-7, 2004.
- Kirbas-Dogan, G.; Gürbüz, I.; Demiraslan, Y. & Takci, I. Macroanatomic and morphometric analysis of the brown bear (*Ursus arctos horribilis*) mandible. *Int. J. Morphol.*, 39(2):587-91, 2021.
- Mena Gonzales, H. & Servín Zamora, E. *Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (Ambystoma mexicanum)*. Ciudad de México, Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 2014. pp.4-37.
- Nicolino, A.; Bionda, C.; Salas, N. & Martino, A. Historias de vida y demografía de *Physalaemus biligonigerus* (Anura: Leptodactylidae) en una charca periurbana del centro de Argentina. *Rev. Biol. Trop.*, 66(2):765-75, 2018.
- Olascoaga-Elizarraraz, A.; Servín Zamora, E.; Nogueira Marmolejo, M.; Ojeda Chávez, J.; Alcaraz Sosa, L.; Díaz Neste, M.; López Montaña, M.; Ducoing Watty, A. & Maldonado-Reséndiz, R. Estimación de parámetros hematológicos en axolote de Xochimilco (*Ambystoma*

- mexicanum*) bajo cuidado humano en el zoológico de Chapultepec, México. *Rev. Latinoam. Herpetol.*, 4(1):95-104, 2021.
- Ponomareva, L. V.; Athipposhy, A.; Thorson, J. S. & Voss, S. R. Using *Ambystoma mexicanum* (Mexican axolotl) embryos, chemical genetics, and microarray analysis to identify signaling pathways associated with tissue regeneration. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.*, 178:128-35, 2015.
- Robles-Mendoza, C.; García-Basilio, C.; Cram-Heydrich, S.; Hernández-Quiroz, M. & Vanegas-Pérez, C. Organophosphorus pesticides effect on early stages of the axolotl *Ambystoma mexicanum* (Amphibia: Caudata). *Chemosphere*, 74(5):703-10, 2009.
- Santos-Santos, J.; Guinovart-Castán, M. & Vieites, D. R. Descriptive skeletal anatomy of *Blommersia transmarina* (Amphibia: Anura: Mantellidae) from the Comoro Islands. *Contrib. Zool.*, 89(1):14-73, 2019.
- Takami, Y. & Une, Y. A retrospective study of diseases in *Ambystoma mexicanum*: a report of 97 cases. *J. Vet. Med. Sci.*, 79(6):1068-71, 2017.
- Tollefson, J. Humans are driving one million species to extinction. *Nature*, 569(7755):171, 2019.
- Voss, S. R.; Woodcock, M. R. & Zambrano, L. A tale of two Axolotls. *Bioscience*, 65(12):1134-40, 2015.

Dirección para correspondencia:

Juan Manuel Díaz  
Unidad Médico Didáctica  
Edificio 101  
Ciudad Universitaria  
Universidad Autónoma de Aguascalientes  
C.P. 20100 Aguascalientes, Ags.  
MEXICO

E-mail: manuel.diaz@edu.uaa.mx