

## El ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*): Un enfoque anatómico y científico para su conservación

## The Xochimilco axolotl (*Ambystoma mexicanum*): An anatomical and scientific approach to its conservation

Oscar Daniel González-Santana <sup>a\*</sup>, Samantha Jardon-Xicotencatl <sup>a</sup>

---

### Abstract:

Biodiversity conservation is one of the most serious concerns of our time. In this context, it is essential to pay attention to species that often go unnoticed but play a crucial role in preserving ecological balance. One of those species that deserves special attention is *Ambystoma mexicanum*, commonly known as the axolotl. This surprising amphibian endemic to Mexico, with its unique regenerative capacity and its importance for scientific research, has become a true aquatic treasure in danger. This article aims to provide a brief description of some of the most impressive characteristics of *Ambystoma mexicanum*, focusing on its distinctive morphological characteristics, the phenomenon of neoteny as well as its remarkable capacity for regeneration. This is in order to motivate the conservation of this species and its habitat.

### Keywords:

Axolotl, regeneration, neoteny, conservation

---

### Resumen:

La conservación de la biodiversidad es una de las preocupaciones más apremiantes de nuestro tiempo. En este contexto, es fundamental prestar atención a especies que a menudo pasan desapercibidas, pero que desempeñan un papel crucial en la preservación del equilibrio ecológico. Una de esas especies que merece una atención especial es el *Ambystoma mexicanum*, conocido comúnmente como el ajolote. Este sorprendente anfibio endémico de México, con su capacidad regenerativa única y su importancia para la investigación científica, se ha vuelto un verdadero tesoro acuático en peligro. Este artículo tiene como objetivo proporcionar una breve descripción de algunas de las características más impresionantes del *Ambystoma mexicanum*, centrándose en sus características morfológicas distintivas, el fenómeno de la neotenia así como en su capacidad notable de regeneración. Esto con la finalidad de motivar la conservación de esta especie y su hábitat

### Palabras Clave:

Ajolote, regeneración, neotenia, conservación

---

## 1. Introducción

Los miembros de la familia Ambystomatidae, denominados salamandras, achoques, ajolotes entre otros nombres, son anfibios que se distribuyen en Norteamérica desde el sur de Canadá hasta México. Esta familia cuenta actualmente con 30 especies identificadas, dentro de las cuales 17 se encuentran distribuidas en la República Mexicana [1,2]. Debido a diferentes aspectos biológicos,

ecológicos y geológicos por mencionar algunos, nuestro país presenta un alto porcentaje de especies endémicas. Hablando sólo acerca de endemismos de anfibios, estos representan el 65% de las especies totales en el país [3]. Dentro de la familia Ambystomatidae, 16 de las 17 especies que se distribuyen en México son endémicas [1] siendo el ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) la especie más carismática y con más información científica descrita (Fig. 1).

---

<sup>a</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Oscar Daniel González-Santana: <https://orcid.org/0009-0001-6666-1034>, email: [oscar.gonzalez@cuautitlan.unam.mx](mailto:oscar.gonzalez@cuautitlan.unam.mx); Samantha Jardon-Xicotencatl: <https://orcid.org/0000-0001-5259-8866>, email: [doctora.jardon@cuautitlan.unam.mx](mailto:doctora.jardon@cuautitlan.unam.mx)

\* Autor de correspondencia: [oscar.gonzalez@cuautitlan.unam.mx](mailto:oscar.gonzalez@cuautitlan.unam.mx)

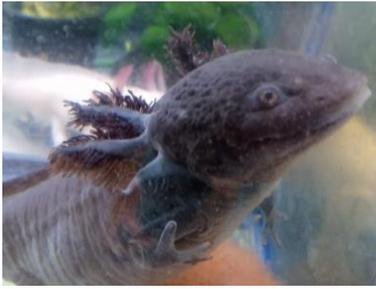


Figura 1: Ajolote de Xochimilco. Imagen por: Tania Flores

Esta especie es endémica de los sistemas lacustres del centro de México, principalmente en el lago de Xochimilco y el lago de Chalco, sin embargo, se ha descrito su presencia en el lago de Chapultepec (Fig. 2)

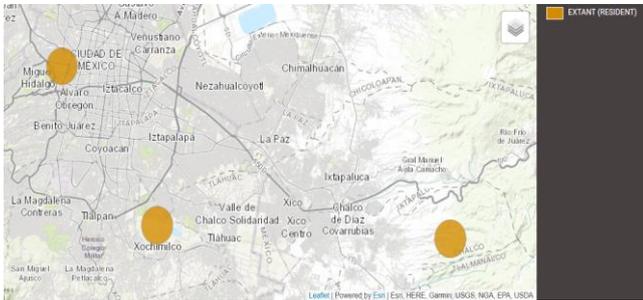


Figura 2: Sitios de distribución de *Ambystoma mexicanum*. Tomado de IUCN (International Union for Conservation of Nature), Conservation International & NatureServe 2019. *Ambystoma mexicanum*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1

Desafortunadamente las poblaciones de esta especie se encuentran en decremento constante. Según datos de la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza [4] se estima que en vida libre existen entre 50 y 1000 individuos adultos. Se han desarrollado censos para determinar su presencia en los tres lagos antes mencionados entre 1998 y 2017 mostrando un decremento de más del 80% de la población en ese lapso. Siendo el lago de Xochimilco el sitio donde en 2017 no se localizó ningún individuo mientras que en el lago de Chalco falta investigación para determinar las cantidades estimadas de esta especie. En el lago de Chapultepec se encontraron individuos, pero siendo un lago artificial, se cree que fueron individuos que se introdujeron debido al ser humano y que se han logrado adaptar. Debido a esto, la UICN clasifica a

esta especie en la categoría de Críticamente amenazada (Cr) [4,5,6].

Paradójicamente esta especie carismática se ha popularizado los últimos años en el mercado de mascotas no convencionales [7]. Tan solo hablando del comercio internacional, según la Convención sobre el Comercio Internacional sobre Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres, entre el año 2000 y 2003 se comercializaron más de 30,000 individuos con diversos fines siendo los fines comerciales (63%) y de investigación (24%) los más importantes [8]. Con datos de la UICN, Carpenter y colaboradores [9] mencionan que de 1978 a 2007 *A. mexicanum* es uno de los principales anfibios comercializados (22%) de manera internacional superando los 107,000 individuos cuyo principal exportador es Estados Unidos de América a través del comercio de individuos y huevos criados en cautiverio [9,10]. Esto no necesariamente implica que sean víctimas de la extracción ilegal. Al menos en México, es justo el aprovechamiento legal y sostenible lo que permite que las poblaciones cautivas de esta especie permanezcan viables. Esto se realiza en las Unidades de Manejo para el Aprovechamiento de la Vida Silvestre (UMA) con el objetivo de conservar tanto poblaciones como el hábitat de las diferentes especies, así como el aprovechamiento sostenible. [11,12]

El ajolote ha jugado un papel muy importante dentro de las culturas de la zona centro de México, siendo representado de diversas formas: en códigos, esculturas, poemas e incluso dentro de su cosmovisión. El nombre común del ajolote proviene de las palabras náhuatl: "Atl": agua y "Xolotl": que significa entre otras cosas bufón, monstruo, estrella de la tarde; traduciéndose como monstruo de agua. Xolotl también era el nombre que recibía el hermano gemelo de "Quetzalcoatl". Dentro de la mitología mexicana, Xolotl no quiso inmortalizarse como sí lo hicieron otros dioses como parte de la creación del universo. Intentó escapar de su destino transformándose en diversos animales y cosas incluyendo el ajolote, forma con la cual sería capturado y sacrificado [13].

Sin embargo, quizás, la realidad puede superar o igualar la ficción pues esta especie ha desarrollado a lo largo de su evolución natural una variedad amplia de adaptaciones fascinantes que les ha permitido sobrevivir durante millones de años. Por

mencionar algunas características, los ajolotes, son anfibios urodelos que pueden respirar a través de la piel y de branquias con las que han podido adaptarse a ambientes lacustres fríos y con bajas concentraciones de oxígeno [14]; se mantienen “siempre jóvenes” debido a que han desarrollado una neotenia permanente [15] y la regeneración de tejidos hacia la cual se han volcado numerosas investigaciones para entenderla y traspolarla.

Desafortunadamente y a pesar de esto el ajolote (*A. mexicanum*) al igual que muchas otras especies se encuentra en riesgo de extinguirse principalmente por actividades antropogénicas. Y es justamente porque a los alrededores de su hábitat natural se edifica la creciente Ciudad de México favoreciendo la destrucción de su hábitat, contaminación e introducción de especies exóticas invasoras por mencionar algunas.

El entendimiento de las características anatómicas y fisiológicas de esta especie permite darle un valor (ecológico, económico, cultural y científico) y por lo tanto motivar su conservación.

## 2. Anatomía general del ajolote

El ajolote de Xochimilco es un anfibio perteneciente al orden Caudata, el cual enlista a los anfibios con cola (de ahí deriva el nombre del grupo). Caudata incluye anfibios como salamandras, tritones, hellblenders, neoturos y entre otros más también a los ajolotes. Los Caudados se distribuyen principalmente en zonas templadas y tropicales del hemisferio norte. Típicamente este grupo de anfibios se caracteriza por presentar cuerpos alargados y colas largas y carnosas. Predominantemente presentan cuatro miembros sin embargo hay especies que presentan reducción de los mismos presentando solo un par o ninguno [16]. Esta especie presenta varias características anatómicas distintivas. Su cuerpo es alargado y cilíndrico, con una longitud promedio de 23-28 centímetros, aunque algunos ejemplares pueden alcanzar los 30 centímetros [17]. Posee una cabeza ancha y aplanada, con ojos pequeños y protuberantes, que le brindan una visión panorámica. Sus extremidades son cortas y están adaptadas para la vida acuática lacustre, con dedos largos y delgados, además de una cola larga y

musculosa aplanada lateralmente que le permite nadar con facilidad.

La respiración de esta especie se realiza a partir de la piel, branquias y pulmones. La piel en general de los anfibios es delgada y permeable, permitiendo no solo el intercambio gaseoso a través de la difusión, sino que también permite el equilibrio hídrico e iónico. Esto es favorecido gracias a un estrato córneo delgado y capilares epidérmicos. Las branquias son plumosas y extensas para ampliar la superficie de contacto y mejorar el intercambio gaseoso [16,17]. Bajo condiciones inadecuadas en cautiverio donde hay una concentración más alta de oxígeno en el agua que la de sus zonas de distribución natural, se ha observado que las branquias disminuyen de tamaño. Las branquias deben moverse cada cierto tiempo para poder permitir el movimiento del agua y permitir el flujo de oxígeno [16].

Los ajolotes (*A. mexicanum*) al igual que otras especies de la familia Ambystomatidae presentan dos características anatomofisiológicas sumamente interesantes y que lo han hecho meritorio de numerosas investigaciones debido a su potencial de aplicación a la ciencia médica: 1) La neotenia y 2) su gran capacidad para regenerar órganos.

## 3. La neotenia, el siempre estar joven

De manera clásica se ha descrito a la Clase Amphibia como un taxón que presenta metamorfosis como una estrategia de desarrollo entre las fases larvianas y los estadios adultos. En el orden Anura, esta característica se presenta de manera obligada, pues permite la transición de una forma netamente acuática a una que permite la locomoción en el medio terrestre. En miembros del orden Caudata no se presenta este fenómeno de manera obligada como si en ranas y sapos, sino que se presenta en diferentes grados el fenómeno de la neotenia.

La neotenia se define como la capacidad de retención de características larvianas alcanzando de esta manera la madurez sexual [18, 19]. Esta característica se ha desarrollado en diversos taxones, sin embargo se ha descrito de forma abundante en el ajolote (*A. mexicanum*). La neotenia puede presentarse de manera facultativa

como en el género *Ambystoma* o de forma obligada como en los géneros *Proteus*, *Necturus* o *Siren* [15]. Estudios filogenéticos han demostrado que la neotenia se ha desarrollado varias veces de manera independiente en el desarrollo del género *Ambystoma* (Fig. 3).

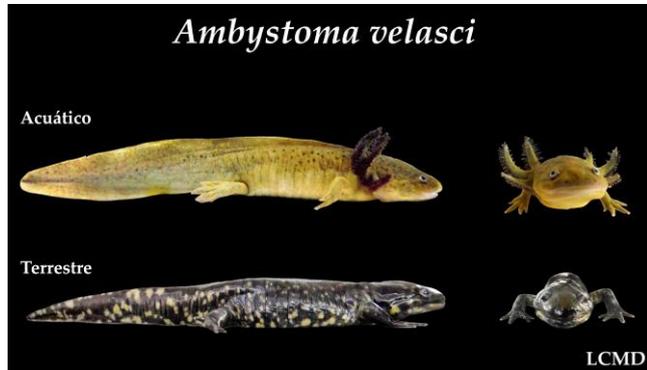


Figura 3: Comparación entre un individuo en estado neoténico y uno metamorfoseado de *A. Velasci*. Tomado de CIVESTAV, 2020

Además se ha teorizado que diferentes alteraciones genéticas son las responsables de la presentación de la neotenia. [20]. Bajo condiciones de laboratorio el género *Ambystoma* ha desarrollado la metamorfosis cuando es inducido con hormonas tiroideas, aunque las dosis varían según la especie, siendo las más estudiadas en *A. mexicanum* y *A. tigrinum*. Ya que la presencia de estas hormonas si generan una respuesta por parte de los tejidos de estas especies debido a receptores específicos, la neotenia en esta especie se debe a defectos en la producción y secreción de hormonas tiroideas como la Hormona Tirotrópica (TSH) [15, 21, 22]. La TSH es capaz de inducir bajo condiciones de laboratorio la metamorfosis en el ajolote, lo que indica que todos los procesos e interacciones en el eje hipotálamo-hipófiso-tiroideo por debajo de la hipófisis es funcional. En especies que realizan metamorfosis la secreción de la TSH es mediada por el neuropéptido hipotalámico denominado como Hormona liberadora de corticotropina (CRH) la cual en ajolotes ha perdido esa actividad tirotrópica [23].

#### 4. Capacidad de regeneración

Una de las características más notables del *Ambystoma mexicanum* es su capacidad de regenerar tejidos y órganos (Fig. 4). Puede regenerar extremidades completas, incluyendo

huesos, músculos, nervios y vasos sanguíneos, en un período de tiempo relativamente corto. Además, puede regenerar órganos internos, como el corazón, los riñones y el sistema nervioso central. Esta capacidad de regeneración se atribuye al desarrollo de cúmulos de células no diferenciadas denominadas blastemas en los tejidos y a la capacidad de reprogramación de dichos cúmulos en el sitio de la lesión [24,25,26]. La regeneración en los caudados depende enteramente de la presencia de tejido nervioso y de la señalización que emite al blastema o bien en combinación con diferentes moléculas de señalización [26,27,28]

En el ajolote, una regeneración exitosa conlleva la intervención de diversos procesos, algunos más estudiados que otros. Por ejemplo, involucra diversos eventos de reprogramación celular y una compleja regulación entre la proliferación y diferenciación de las células. Al momento de replicar la información genética de las nuevas células que formarán el nuevo tejido y su respectiva diferenciación, los mecanismos de reparación de DNA adquieren una gran relevancia, especialmente si entendemos que el genoma del ajolote (32000 Mb) es muy largo y por lo tanto es propenso a sufrir errores. [29]

Bajo condiciones de laboratorio, una vez que se amputa un miembro, la primera respuesta por parte del organismo será buscar cubrir y proteger la herida [24]. Primero, la lesión se cubrirá por una delgada capa de células epidérmicas formadas por migratorias y proliferativas que cubrirán todo el tejido circundante. Por debajo de esta capa epidérmica, las células diferenciadas se reprograman para comportarse como células progenitoras, las cuales proliferarán y contribuirán a formar el blastema. Posteriormente, una fracción de las células del blastema eventualmente comenzarán a diferenciarse para formar los diferentes tejidos de la nueva extremidad [29].

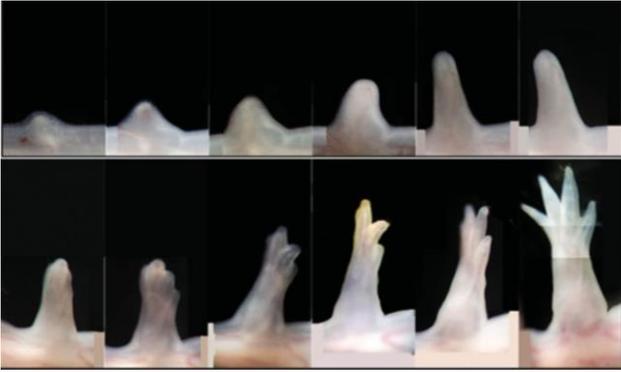


Figura 4: Regeneración de miembro de *A. mexicanum* a lo largo de 40 días post escisión quirúrgica. Modificado de Makanae y Satoh, 2012

## 5. Valorando al ajolote

El ajolote se ha convertido en un icono de la Ciudad de México y de la biología en sí misma. Esta es una especie muy abundante bajo cuidado humano y se comercializa de forma muy eficiente como mascota no convencional [12,30], exhibiendo diferentes coloraciones, lo que hace muy atractivo su comercio (Fig. 5). Aunque es muy importante mencionar que ninguna de estas coloraciones que van desde el albino hasta el melánico es adecuada para la conservación.[30] Únicamente la variedad silvestre (también llamado nominal) y que solo algunas UMAS, Centros de Conservación y programas de investigación muy específicos por parte de Universidades como la UNAM y la UAM mantienen y reproducen con las finalidades de educación, conservación e investigación. [12]



Figura 5: *A. mexicanum* de diferentes coloraciones. De izq. a der. Melánico, Golden, Leucístico, Nominal. Foto por Tania Flores

Su capacidad para regenerar tejidos ha fascinado a científicos y a la población en general. Esta característica importante lo ha convertido en un modelo importante en el estudio de la regeneración de tejidos. Además, el estudio de su genoma arroja luz sobre la evolución de los vertebrados terrestres. De esta forma el ajolote no solo es un símbolo de la

biodiversidad, sino también un recurso valioso para avanzar en la ciencia y la medicina.

En la naturaleza, el ajolote cumple con el rol de ser una especie depredadora. Se alimenta (dependiendo de su tamaño y estado larvario) desde zooplancton, larvas de insectos, anélidos y hasta pequeños peces. De la misma forma, es una especie que puede ser depredada en sus diferentes estadios participando de manera activa e importante en las cadenas tróficas.[31]

A pesar de esto, es una especie que desde el punto de vista biológico y ecológico se encuentra críticamente amenazado con poblaciones naturales muy disminuidas. En el muestreo de 2002-2003 se capturaron 42 individuos, mientras que en el estudio correspondiente al año 2013 únicamente se encontraron 2 ejemplares; Zambrano mencionó no haber encontrado ningún ajolote en el año 2017 en Xochimilco.[4,12] Varias son las causas que favorecen el declive las poblaciones de esta carismática especie como la presencia de especies exóticas invasoras como carpas (*Cyprinus carpio*), lobina negra (*Micropterus salmoides*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) por mencionar algunas; la contaminación debida a las altas concentraciones de nitratos, amonio, cloro y metales pesados; los altos conteos de coliformes y bacterias (*Streptococcus*, *Aeromonas* y *Pseudomonas*) en las aguas del lago y canales de Xochimilco; y la acción de patógenos como *Batrachochytrium salamandrivorans*. [32]

En tiempos recientes se ha popularizado esta especie de forma que se puede encontrar en redes sociales, en dibujos, peluches, ropa e incluso el billete de 50 pesos mexicanos lo que ha favorecido el conocimiento de esta especie carismática. Sin embargo, es necesario que se lleven a cabo acciones más allá de la difusión y la comercialización para asegurar la continuidad en el tiempo del ajolote. Entender el potencial y la importancia biológica, fisiológica, cultural, económica, biomédica y de investigación puede favorecer el desarrollo de políticas públicas adecuadas. Por otra parte, deben de seguir los esfuerzos de poner al alcance toda esta información a todos los estratos sociales, específicamente hacerlos llegar a los tomadores de decisiones y a la población que coexiste en el mismo sitio geográfico. El desarrollo de Unidades de Manejo para la

Conservación (UMA) en los sitios de distribución natural de esta especie pueden asegurar la reintroducción de esta especie en su medio, lo mismo que las diferentes instituciones zoológicas que los mantienen y los reproducen con éxito. Sin embargo, para esto también se debe de asegurar un medio ambiente adecuado.

## 6. Conclusión

El ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) representa un tesoro biológico invaluable cuya conservación es crucial para la biodiversidad y la ciencia. A través del estudio de sus particularidades morfológicas y fisiológicas, se ha revelado la extraordinaria adaptación de esta especie a su hábitat lacustre, así como su potencial para la investigación biomédica y la comprensión de la evolución de los vertebrados terrestres. La neotenia, un fenómeno único en el ajolote, desafía las convenciones del desarrollo animal y ofrece a los científicos un modelo fascinante para comprender los mecanismos evolutivos y de desarrollo. La capacidad del ajolote para regenerar tejidos y órganos completos, incluidas extremidades y órganos internos, ha capturado la atención de la comunidad científica en busca de pistas para mejorar la regeneración humana y tratar enfermedades.

Sin embargo, a pesar de su importancia científica y cultural, el ajolote enfrenta una crisis de conservación debido a la urbanización, la contaminación y la introducción de especies invasoras en su hábitat natural. La disminución dramática de las poblaciones de ajolote es alarmante y requiere acciones urgentes de conservación la cual no solo es importante desde una perspectiva científica y médica.

Si bien, el acercamiento y conocimiento de esta especie hacia la población en general se ha logrado de tal forma que se ha vuelto una especie carismática, ese es solo el punto de partida para lograr su conservación. La reproducción en cautiverio y su consecuente comercio puede favorecer la preservación genética de manera *ex situ*, pero de no mejorar la situación de su hábitat natural, esto sería una actividad meramente económica y no de conservación. Reiteramos que preservar y restaurar su hábitat natural, como los

canales de Xochimilco mediante la reducción de la contaminación del agua y la regulación de especies invasoras es de suma importancia; así como la implementación de políticas de conservación efectivas, como la creación de Unidades de Manejo para la Conservación (UMA) y programas de reintroducción en su hábitat natural, son pasos críticos hacia la recuperación de las poblaciones de ajolote.

Es alentador ver un creciente interés público en el ajolote, pero este interés debe traducirse en acciones concretas de conservación y educación ambiental. Los tomadores de decisiones deben priorizar la protección de especies en peligro como el ajolote, promoviendo la participación comunitaria y la colaboración entre instituciones científicas, gubernamentales y locales.

En resumen, el estudio de las particularidades morfológicas y fisiológicas del ajolote de Xochimilco es fundamental para comprender su importancia ecológica, cultural y científica. Su conservación requiere un compromiso colectivo para preservar no solo una especie, sino también los ecosistemas que sustentan la vida en nuestro planeta.

El ajolote no solo es un símbolo de la biodiversidad o un motivo económico, sino también un llamado a la acción para proteger y valorar la vida en todas sus formas más extraordinarias.

## Referencias

- [1] SEMARNAT (2018). Programa de Acción para la Conservación de las Especies *Ambystoma* spp, Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/444128/PACE\\_Ambystoma2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/444128/PACE_Ambystoma2.pdf)
- [2] ASW Amphibian Species of the World (2023) *Ambystomatidae*. Consultado en: <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/Amphibia/Caudata/Ambystomatidae>
- [3] Flores, O., y L. Canseco. (2004). Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana*(n.s.) 20(2):115-144.
- [4] IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2020. *Ambystoma mexicanum*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2020*: <https://www.iucnredlist.org/species/1095/53947343> Consultada el 22 de Julio de 2023.
- [5] Zambrano, L., Vega, E., Herrera, L.G., Prado, E. and Reynoso, V.H. 2007. A population matrix model and population viability analysis to predict the fate of endangered species in highly managed water systems. *Animal Conservation* 10: 297-303.
- [6] Contreras, V., Martínez-Meyer, E., Valiente, E. and Zambrano, L. 2009. Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biological Conservation* 142(12): 2881-2885.

- [7] Pineda-Vázquez, M., Villegas, A., Pacheco-Coronel, N., Escutia-Sánchez, J. A., & Gómez-Álvarez, G. (2022). Trade of Herpetofauna as Ornamental and Companion Animals in Three Markets in Mexico City. *Revista latinoamericana de herpetología*, 5(4).
- [8] CITES Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Vigésimo primera reunión del Comité de Fauna (2005). Consultada en: <https://cites.org/sites/default/files/esp/com/ac/21/S21-11-2.pdf>
- [9] Carpenter, A. I., Andreone, F., Moore, R. D., & Griffiths, R. A. (2014). A review of the international trade in amphibians: the types, levels and dynamics of trade in CITES-listed species. *Oryx*, 48(4), 565-574.
- [10] CITES (2024) *CITES Wildlife TradeView 2024. Filtros aplicados: Ambystoma mexicanum*. <https://tradeview.cites.org/es/taxon>
- [11] SEMARNAT (2024) Ley General de Vida Silvestre. [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146\\_200521.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf). Consultada el 31 de Marzo de 2024.
- [12] Zambrano González, L., Reynoso, V. H. y G. Herrera. (2003). Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. AS004. México D. F.
- [13] Moreno, R. (1969). El axólotl. *Estudios de cultura náhuatl*, 8, 157-173.
- [14] Tattersall, G. (2007). Skin breathing in amphibians. *Endothelial Biomedicine: a Comprehensive Reference*, 85-91.
- [15] Safi, R., Bertrand, S., Marchand, O., Duffraisse, M., de Luze, A., Vanacker, J.-M., ... Laudet, V. (2004). *The Axolotl (Ambystoma mexicanum), a Neotenic Amphibian, Expresses Functional Thyroid Hormone Receptors*. *Endocrinology*, 145(2), 760-772.
- [16] Vitt, L. J., & Caldwell, J. P. (2013). *Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles*. Academic press.
- [17] Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, U. O. García-Vázquez, A. Leyte-Manrique y L. Canseco-Márquez. 2009. Herpetofauna del Valle de México. Diversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D. F. México. 240 p.
- [18] Pierce, B. A., & Smith, H. M. (1979). *Neoteny or Paedogenesis?* *Journal of Herpetology*, 13(1), 119.
- [19] Skulachev, V. P., Holtze, S., Vyssokikh, M. Y., Bakeeva, L. E., Skulachev, M. V., Markov, A. V., ... & Sadovnichii, V. A. (2017). Neoteny, prolongation of youth: from naked mole rats to "naked apes" (humans). *Physiological reviews*, 97(2), 699-720.
- [20] Shaffer, H. B. (1993). *Phylogenetics of Model Organisms: The Laboratory Axolotl, Ambystoma Mexicanum*. *Systematic Biology*, 42(4), 508-522.
- [21] Taurog, A., Oliver, C., Eskay, R. L., Porter, J. C., & McKenzie, J. M. (1974). The role of TRH in the neoteny of the Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *General and comparative endocrinology*, 24(3), 267-279.
- [22] Voss, S. R. (1995). Genetic basis of paedomorphosis in the axolotl, *Ambystoma mexicanum*: a test of the single-gene hypothesis. *Journal of Heredity*, 86(6), 441-447.
- [23] De Groef, B., Grommen, S. V. H., & Darras, V. M. (2018). *Forever young: Endocrinology of paedomorphosis in the Mexican axolotl (Ambystoma mexicanum)*. *General and Comparative Endocrinology*, 266, 194-201.
- [24] Tank, P. W., Carlson, B. M., & Connelly, T. G. (1976). A staging system for forelimb regeneration in the axolotl, *Ambystoma mexicanum*. *Journal of Morphology*, 150(1), 117-128.
- [25] Satoh, A., Mitogawa, K., & Makanae, A. (2015). *Regeneration inducers in limb regeneration*. *Development, Growth & Differentiation*, 57(6), 421-429.
- [26] Makanae, A., Tajika, Y., Nishimura, K., Saito, N., Tanaka, J. I., & Satoh, A. (2020). Neural regulation in tooth regeneration of *Ambystoma mexicanum*. *Scientific reports*, 10(1), 9323.
- [27] Endo, T., Bryant, S. V., & Gardiner, D. M. (2004). *A stepwise model system for limb regeneration*. *Developmental Biology*, 270(1), 135-145.
- [28] Vieira, W. A., Wells, K. M., Raymond, M. J., De Souza, L., Garcia, E., & McCusker, C. D. (2019). *FGF, BMP, and RA signaling are sufficient for the induction of complete limb regeneration from non-regenerating wounds on Ambystoma mexicanum limbs*. *Developmental Biology*.
- [29] García-Lepe, U. O., Cruz-Ramírez, A., & Bermúdez-Cruz, R. M. (2021). DNA repair during regeneration in *Ambystoma mexicanum*. *Developmental Dynamics*, 250(6), 788-799. Dilla T, Valladares A, Lizán L, Sacristán JA. Adherencia y persistencia terapéutica: causas, consecuencias y estrategias de mejora. *Aten. Primaria* 2009; 41(6): 342-48. Consultado en <https://anatomypubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/dvd.v.455>
- [30] Akerberg, V. D. Á., Martínez, T. M. G., Hernández, A. G., & Trejo, M. V. (2021). El género *Ambystoma* en México¿ Qué son los ajolotes?. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 28(2).
- [31] Zambrano, L., Cortes, H., & Merlo-Galeazzi, A. (2014). *Eat and be eaten: reciprocal predation between axolotls (Ambystoma mexicanum) and crayfish (Cambarellus montezumae) as they grow in size*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 48(1), 13-23. doi:10.1080/10236244.2014.970806
- [32] Suazo-Ortuño, I., Ramírez-Bautista, A., & Alvarado-Díaz, J. (2023). Amphibians and reptiles of Mexico: Diversity and conservation. In *Mexican Fauna in the Anthropocene* (pp. 105-127). Cham: Springer International Publishing.