



El género *Ambystoma* en México: ¿Qué son los ajolotes?

Ávila Akerberg, Víctor Daniel; González Martínez, Tanya Marcela; González Hernández, Adriana;
Vázquez Trejo, Monserrat

El género *Ambystoma* en México: ¿Qué son los ajolotes?

CIENCIA *ergo-sum*, vol. 28, núm. 2, julio-octubre 2021 | e127

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Ávila Akerberg, V. D., González Martínez, T. M., González Hernández, A. y Vázquez Trejo, M. (2021). El género *Ambystoma* en México: ¿Qué son los ajolotes?. CIENCIA *ergo-sum*, 28(2). <https://doi.org/10.30878/ces.v28n2a10>

El género *Ambystoma* en México: ¿Qué son los ajolotes?

What are the axolotls? The genus *Ambystoma* in Mexico

Victor Daniel Ávila Akerberg

Universidad Autónoma del Estado de México, México

vicaviak@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0001-5369-0920>

Recepción: 20 de septiembre de 2019

Aprobación: 18 de mayo de 2020

Tanya Marcela González Martínez

Universidad Nacional Autónoma de México, México

tanyamgm@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-4593-9586>

Adriana González Hernández

Universidad Nacional Autónoma de México, México

abronia@ciencias.unam.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-6445-3338>

Montserrat Vázquez Trejo

Universidad Nacional Autónoma de México, México

movatr@ciencias.unam.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-9010-0790>

RESUMEN

Se presenta la diversidad de un grupo de salamandras peculiares, conocidas como *ajolotes*, que pertenecen al género *Ambystoma*. Se explican algunas de sus características distintivas como también sus cualidades regenerativas, metamorfosis y las creencias populares en cuanto a sus propiedades medicinales. A pesar de que en México habitan 18 de las 33 especies de ajolotes existentes, gran parte de los estudios se han centrado en una sola. La mayoría de las especies de ajolotes en México están en alguna categoría de riesgo de extinción, por eso es fundamental trabajar para su conservación, lo que a su vez promoverá el cuidado tanto de los cuerpos de agua donde habitan como del resto de la biodiversidad en sus hábitats.

PALABRAS CLAVE: ajolotes, conservación, salamandras, *Ambystoma*.

ABSTRACT

In this paper we talk about the diversity of a group of curious salamanders, known as axolotls, belonging to *Ambystoma* genus. Some of their distinctive characteristics are explained, including their regenerative properties, metamorphosis process and popular beliefs related to their medicinal properties. Even though 18 of the 33 species of existent axolotls inhabit Mexican territory, a huge part of the related scientific research has focused on a single species. Most of the species in Mexico are included in a category of risk of extinction, therefore working on their conservation becomes fundamental, such actions will promote their conservation as well as the water bodies where they live, and the biodiversity associated with their habitats.

KEYWORDS: Axolotls, conservation, salamanders, *Ambystoma*.

1. INFORMACIÓN GENERAL DE LOS AJOLOTES, GÉNERO *AMBYSTOMA*

Con frecuencia se reconoce a los ajolotes como salamandras rosadas; sin embargo, la coloración normal de los ajolotes va desde el verde oscuro hasta los tonos marrones, en ocasiones salpicados por pequeñas manchas o reticulaciones de color negro, café o blanco. Los colores que presentan las diferentes especies los ayudan a camuflarse con el sitio donde habitan (Casas Andreu *et al.*, 2003; García-Rodríguez, 2013). En el caso de los

albinos, de color rosado o durazno, comúnmente con ojos rojos, son colores atípicos, que suelen seleccionarse para ser reproducidos en cautiverio por la demanda de mascotas exóticas en el mercado.

El género *Ambystoma* incluye a 33 especies de ajolotes que se distribuyen desde el sur de Canadá hasta la zona centro de México (Frost, 2019). Existen 18 especies del género *Ambystoma* en nuestro país y 17 de ellas son endémicas (figura 1); varias de las especies están repartida a lo largo de tres importantes cadenas montañosas: la Sierra Madre Occidental, el Eje Volcánico Transversal y la Sierra Madre Oriental (Shaffer, 1989; Frost, 2019). La mayoría de los ajolotes mexicanos (15 de 18) se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059 (Semarnat, 2010) y todos están en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) (tabla 1).

Aunque el tamaño y proporción de los ajolotes es variable, muchas especies tienen una longitud media de 20 a 25 cm, pero pueden alcanzar casi los 35 cm de largo total. Su cuerpo es robusto, con patas fuertes y cabeza ancha, presentan surcos en los costados y ojos pequeños (Tihen, 1969; Huacuz, 2001). Las especies son consideradas estrictamente acuáticas y la metamorfosis, aunque puede presentarse, en algunas especies nunca sucede y en otras depende de las condiciones ambientales (Swingle, 1922; Shaffer, 1989; Voss *et al.*, 2009).

TABLA 1

Nombre científico	Estatus de conservación	
	NOM-059	IUCN
<i>Ambystoma altamirani</i> *	A	EN
<i>A. amblycephalum</i> *	Pr	CR
<i>A. andersoni</i> *	Pr	CR
<i>A. bombypellum</i> *	Pr	CR
<i>A. dumerilii</i> *	Pr	CR
<i>A. flavipiperatum</i> *	Pr	EN
<i>A. granulosum</i> *	Pr	CR
<i>A. leorae</i> *	A	CR
<i>A. lermaense</i> *	Pr	CR
<i>A. mavortium</i>	---	LC
<i>A. mexicanum</i> *	P	CR
<i>A. ordinarium</i> *	Pr	EN
<i>A. rivulare</i> *	A	DD
<i>A. rosaceum</i> *	Pr	LC
<i>A. silvense</i> *	---	DD
<i>A. subsalsum</i> *	---	NE
<i>A. taylori</i> *	Pr	EN
<i>A. velasci</i> *	Pr	LC

Nota: estado de conservación de las especies de *Ambystoma* en México. *Endémica. Estatus NOM-059: A = amenazada, P = en peligro, Pr = sujeta a protección especial. Categorización IUCN: CR = en peligro crítico, EN = en peligro, LC = preocupación menor, DD = datos deficientes, NE = no evaluado. Las especies que no se encuentran en ninguna categoría de riesgo dentro de la NOM-059 están denotadas por “---”.

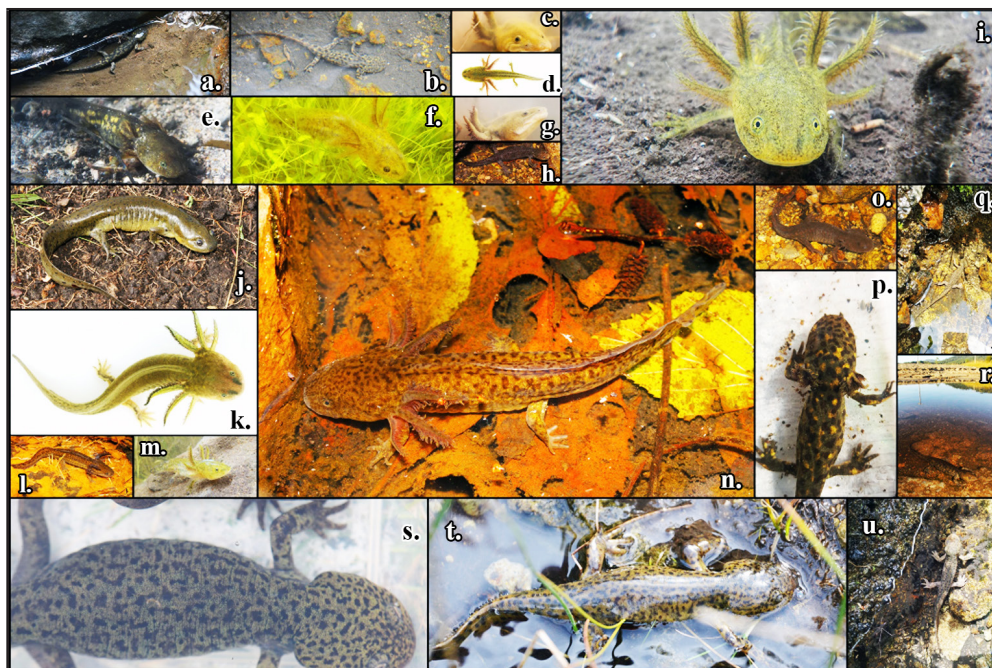


FIGURA 1

Imágenes de algunas especies de ajolotes presentes en México

Fuente: fotografías de Alejandro Calzada Arciniega y Víctor D. Ávila Akerberg.

Nota: se muestran individuos con branquias y sin ellas. Fotos a., b., h., o., p., s., t. y u. corresponden a *A. altamirani*; l. y n. a *A. flavipiperatum*; c., d., f., i., j., g. y m. a *A. granulosum*; q. a *A. leorae*; e. y r. a *A. rivulare*; y k. a *A. velasci*.

2. ¿DÓNDE VIVEN?

Dentro del área geográfica de México los ajolotes se dividen en dos grupos: a) los de arroyo o montaña y b) los de lagos o presas (Casas-Andreu *et al.*, 2003). Los de arroyos viven comúnmente en aguas frías, claras y limpias, con alto contenido de oxígeno por el movimiento constante del agua. Las especies que viven en lagos y presas pueden soportar ciertos niveles de contaminación y menores cantidades de oxígeno disuelto en el agua, aunque esto no quiere decir que puedan vivir óptimamente si la calidad de su ambiente no es la adecuada. Se esconden entre las aberturas que dejan las rocas y las paredes del cuerpo de agua y entre la vegetación acuática. Es más frecuente observarlos durante la época en que se reproducen.

3. COLORACIÓN DE LOS AJOLOTES

El color de los ajolotes depende de ciertas células con pigmento que reflejan la luz llamadas *cromatóforos*. Son comunes en los anfibios, peces y algunos otros animales, como los pulpos o ciertos moluscos. Los cromatóforos pueden dividirse en diferentes tipos dependiendo del color del pigmento que tengan: a) los melanóforos contienen un pigmento marrón negruzco llamado *eumelanina*, b) los xantóforos, carotenoides y pigmentos amarillos y rojizos conocidos como *pteridinas* y c) iridóforos, unos compuestos orgánicos denominados *purinas* que, al cristalizarse, producen una iridiscencia brillante (Frost *et al.*, 1984a; Clare, 2012).

Existen ajolotes albinos, es decir, su coloración es amarillenta o blanquecina con branquias y ojos rojos (Frost *et al.*, 1984a; Clare, 2012), lo que significa que están ausentes las proteínas que producen los genes que codifican para los cromatóforos. Existen ajolotes blancos (leucísticos), que sí producen células con pigmento de manera normal; sin embargo, durante su desarrollo, estas células pigmentarias nunca migran a todas las partes del embrión, lo que resulta en la coloración blanca. A diferencia de los ajolotes albinos, éstos presentan ojos oscuros y no rojos (Frost

et al., 1984a; Clare, 2012). Los ajolotes hipermelanísticos, por el contrario, tienen una pigmentación muy oscura o negra, resultado de que no tienen células pigmentarias reflectantes, es decir, no tienen iridóforos (Frost *et al.*, 1984b).

4. METAMORFOSIS

Como parte de su ciclo de vida, en general, los anfibios tienen dos estados morfológicos: *a*) una larva acuática y *b*) un adulto terrestre (Cota-Hiriart, 2016). La transición entre las dos fases es conocida como *metamorfosis*.

En los ajolotes se presenta un cambio de forma peculiar: los adultos suelen conservar algunas características propias de los individuos juveniles; específicamente mantienen las branquias externas y la aleta de la cola. Este fenómeno, conocido como *paedomorfosis* (Gould, 1977), está asociado a la falta de hormona tiroidea (TH) que, por ser la hormona primaria encargada de promover la metamorfosis en las salamandras, induce la pérdida de los caracteres larvales y el desarrollo de adultos terrestres. A pesar de la ausencia de tal hormona, los ajolotes alcanzan su madurez reproductiva aun en presencia de caracteres larvales (Wakahara, 1996; Johnson y Voss, 2013).

Los ajolotes pueden permanecer como larvas o transformarse en adultos mediante la metamorfosis; sin embargo, algunas especies no son capaces de realizarla ni de forma natural ni en condiciones experimentales. Aunado a esto, existen otras que no pueden realizar la metamorfosis en la naturaleza, pero que la presentan después de un tratamiento con hormonas tiroideas, mientras que en otros casos depende de las condiciones del ambiente (Wakahara, 1996). Por ejemplo, en el ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*) la hipófisis no secreta la hormona tirotropina, esencial para la regulación de los cambios durante la metamorfosis; es decir, cuando al organismo se le inyecta tirotropina, la metamorfosis se desencadena y los caracteres larvales van desapareciendo (Wakahara, 1996). Por su parte, la metamorfosis de *A. tigrinum* está determinada por factores como la temperatura, los alimentos, la densidad de la población, la presencia de competidores y la persistencia de los humedales (Wilbur y Collins, 1973; Bizer, 1978; Brunkow y Collins, 1996). En el caso de la temperatura, aquellos organismos que viven en zonas frías pueden permanecer como larvas, mientras que aquellos que habitan zonas más tropicales sufren metamorfosis (Wakahara, 1996).

5. REGENERACIÓN

El ajolote es uno de los pocos vertebrados capaces de regenerar completamente partes de su cuerpo durante toda su vida (Carlson, 2007). Esta característica ha dado pie a diversas investigaciones. Por ejemplo, se ha demostrado que pueden regenerar sus extremidades, la mandíbula, cola, corazón, médula espinal (Roy y Lévesque, 2006; Mescher, 2004; Freitas *et al.*, 2019) e incluso parcialmente algunos órganos complejos como el ojo y el cerebro (Suetsugu-Maki *et al.*, 2012; Maden *et al.*, 2013; Amamoto *et al.*, 2016).

Para la regeneración de alguna extremidad perdida, es necesaria la formación de una estructura llamada *blastema*, que es una masa de células indiferenciadas que migran hacia el lugar de la herida. El blastema contiene todas las células y la información necesaria para la formación de la nueva extremidad (McCusker *et al.*, 2015), que es una copia de la estructura perdida y es totalmente funcional (figura 2).

Han surgido diversas hipótesis para explicar la capacidad regenerativa de los ajolotes respecto a otros animales con capacidades regenerativas limitadas, como los humanos. Una de las hipótesis asocia tal capacidad con la conservación de caracteres larvales, esto es, da la posibilidad de que los tejidos conserven células madre o que incluso sean capaces de producirlas (Galliot y Ghila, 2010). Diversos estudios, por ejemplo el de Stocum y Cameron (2011), han determinado que el tejido adulto de la extremidad es el que se convierte en las células indiferenciadas que formarán al blastema. Por lo tanto, no se trataría de células madre, sino de células sin identidad con potencial limitado, que es lo suficiente para tener “memoria” del tejido del cual se originaron permitiéndoles volverse a diferenciar de acuerdo con el tejido de origen en la estructura regenerada (Kragl *et al.*, 2009). Otra hipótesis sugiere que la capacidad regenerativa tan elevada de los ajolotes se debe a un sistema

inmune relativamente simple que produce una respuesta inflamatoria más o menos débil ante un daño (Mescher y Neff, 2005; McCusker *et al.*, 2015).

Sin duda alguna, los ajolotes son los maestros de la regeneración por su habilidad de reparar y reemplazar la mayoría de los tejidos y, no sólo eso también, se ha visto que son resistentes al cáncer (Oviedo y Beane, 2009). El estudio de estas capacidades únicas promete develar conocimientos que podrían aplicarse en la medicina regenerativa para reparar y regenerar tejidos de otros seres vivos, incluidos los seres humanos, lo que beneficiaría a personas que han sufrido alguna amputación de la extremidad, quemaduras o disfunción de órganos (Roy y Gatién, 2008).

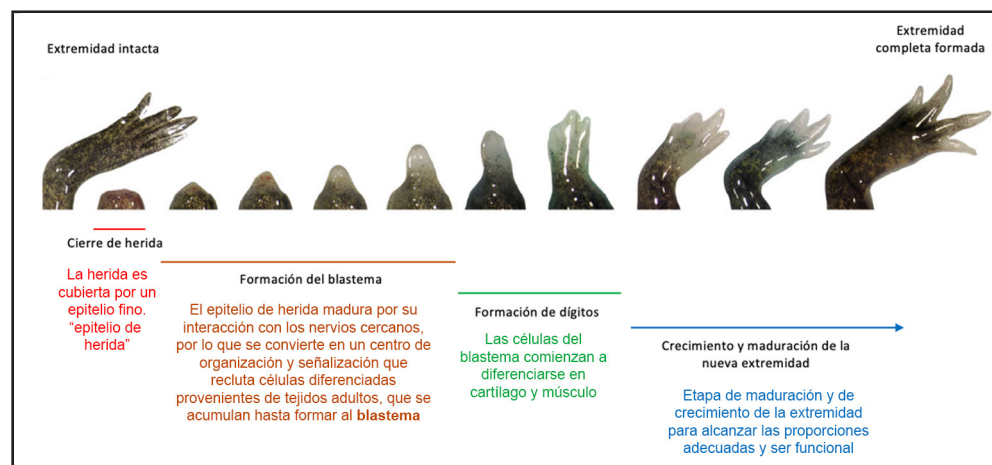


FIGURA 2

Desarrollo y formación del blastema durante la regeneración de la extremidad de ajolote

Fuente: imagen modificada de McCusker *et al.* (2015).

6. PROPIEDADES MEDICINALES

Aunque no se ha documentado ni se han hecho estudios científicos para probar la efectividad de los ajolotes como medicina, durante mucho tiempo se han usado en la medicina tradicional de algunas culturas. Por ejemplo, en la cultura purépecha se le atribuyen propiedades curativas para el tratamiento de vías respiratorias, curación de empachos y sofocamientos y hasta como un remedio para facilitar el parto. Además, se utilizan como un energizante, revitalizante y reconstituyente del sistema inmune, por lo que se suelen administrar a personas con anemia, desnutrición o a adultos mayores (González *et al.*, 2017).

Asimismo, ajolotes de diferentes especies se han usado en la elaboración de pomadas, jarabes e infusiones como ingrediente principal. Es importante señalar que ninguna de estas propiedades curativas ha sido confirmada a través de un protocolo científico o clínico (Casas-Andreu *et al.*, 2003; Cota-Hiriart, 2016). Es común que para la elaboración de estos remedios la mayoría de los ajolotes son extraídos de su medio natural y no provienen de criaderos; esta actividad, además de ser ilegal, contribuye a la baja de las poblaciones. Las monjas dominicas del Monasterio de la Inmaculada de la Salud tuvieron que enfrentar dicho problema cuando las poblaciones del achoque (*A. dumerilli*) disminuyeron debido a la eutrofización del lago de Pátzcuaro. Ellas llevaban más de cien años preparando el “jarabe de achójkí” y tenían una fuerte relación con el achoque, por lo que era muy importante la conservación para su aprovechamiento. De este modo, junto al fraile biólogo Gerardo Guerra, en 2000 crearon el criadero Jimbani erandi, registrado como una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA). Este es un ejemplo exitoso, pues logra tanto la conservación de la especie como un aprovechamiento sustentable de este recurso natural (Carrillo-Trueba, 2010; Velarde-Mendoza, 2012).

7. FACTORES DE RIESGO

En general, las actividades humanas han perturbado el hábitat de los ajolotes a causa de la urbanización, la contaminación del agua por uso de detergentes, fertilizantes, acumulación de basura y descarga de aguas residuales, la sedimentación, la tala ilegal, el sobrepastoreo, la introducción de especies exóticas a los cuerpos de agua (incluyendo truchas, carpas, lobina, tilapia, rana toro y otras especies), el turismo recreativo intensivo, la sobreexplotación para su consumo, e incluso por efectos del cambio climático que contribuyen a la reducción de las poblaciones de los ajolotes (Lemos-Espinal, 2003b; Shaffer *et al.*, 2008; González-Martínez *et al.*, 2014; Aguilar-Moreno y Aguilar-Aguilar, 2019). También se encuentran amenazados por la agricultura, en particular por el cultivo comercial de trigo, lo que lleva a la desecación y contaminación de los cuerpos de agua, así como por la tala de los bosques de coníferas y encinos, principalmente para el pastoreo, entre otras actividades productivas.

En el caso de *A. mexicanum*, la venta ilegal con fines alimenticios, medicinales y su uso como mascotas (Zambrano *et al.*, 2010) contribuye también al deterioro de sus poblaciones y también, en cierta medida, por su empleo como modelo en experimentos de laboratorio y en trabajos de biología del desarrollo (Stephan y Ensástigue, 2001; Casas Andreu *et al.*, 2003). Sin embargo, la principal causa del declive de sus poblaciones es la contaminación y desecación de cuerpos de agua donde vive y el cambio de vocación del territorio asociado con la urbanización de su medio, lo que ha provocado la desaparición de las zonas chinamperas de Xochimilco y la contaminación de buena parte de los canales remanentes (Aguilar-Moreno y Aguilar-Aguilar, 2019).

8. LAS ESPECIES MEXICANAS DE AJOLOTE

8. 1. Los ajolotes de arroyo

8. 1. 1. Ajolote de montaña (*Ambystoma altamirani*)

El color del cuerpo es oscuro con manchas pardo amarillentas de forma irregular y en los organismos de menor tamaño las manchas son proporcionalmente más pequeñas (Ramírez-Bautista *et al.*, 2009). El vientre por lo general es de color amarillo claro, aunque se ha observado que los tonos de piel pueden variar un poco de una población a otra y, a veces, la coloración de la piel pareciera estar en función del color del sedimento del fondo del arroyo (González-Martínez, T. M., comunicación personal), un fenómeno conocido como *adaptación al fondo*, en donde los melanóforos se distribuyen dependiendo de los niveles de luz ambiental, el cual ha sido documentado para otras especies de anfibios e incluso peces, y que implica que los individuos tienen cierto nivel de visión (Neuhauss, 2003). Se encuentra en el centro del Estado de México, al sur de la Ciudad de México y al noroeste de Morelos. Lemos-Espinal (2003a) lo reporta en los municipios Isidro Fabela, Jilotzingo, Jiquipilco, Naucalpan de Juárez, Nicolás Romero y Villa del Carbón en el Estado de México. Las poblaciones actuales conocidas incluyen Sierra de las Cruces, porción sur del parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y porción sur de la Sierra del Ajusco.

8. 1. 2. Ajolote de piel fina (*Ambystoma bombypellum*)

De color café a verde olivo en el dorso y café claro o blanco en el vientre. Es una especie con una distribución restringida; se ha registrado sólo en San Martín y Tenango del Valle, Estado de México (Aguilar-Miguel, 2005; Frost, 2019)

8. 1. 3. Ajolote de Río Frío o Siredón de Leora (*Ambystoma leorae*)

Son de color gris oscuro y café, con una gran cantidad de manchas oscuras o crema y blancas escasamente definidas tanto en la cabeza como en la cola, y a veces se observan una serie de puntos oscuros sobre el dorso

(Ramírez-Bautista *et al.*, 2009). Es una especie restringida al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl a lo largo del límite del Estado de México con Puebla. Se encuentra en arroyos y pozas en altitudes superiores a los 3 000 m, en la parte norte de la Sierra Nevada, específicamente en los alrededores del poblado de Río Frío y en el Monte Tláloc, dentro de los municipios de Tlalmanalco e Ixtapaluca (Frost, 2019).

8. 1. 4. *Ajolote de Michoacán o Achoque michoacano* (*Ambystoma ordinarium*)

Son de color gris oscuro y opaco aunque a veces presentan el dorso con motas claras y en ocasiones tres líneas de puntos claros a cada lado del cuerpo (Huacuz, 2001). Sólo se encuentra en la meseta al este del Lago de Pátzcuaro, Michoacán y el límite oeste del Estado de México (Frost, 2019).

8. 1. 5. *Ajolote arroyero* (*Ambystoma rivulare*)

El color dorsal es negruzco, en los costados el color es menos intenso, presenta marcas oscuras en la parte inferior de los costados y la cola y el vientre son de color gris negruzco con pequeños puntos oscuros (Huacuz, 2001). Se distribuye en el Nevado de Toluca, Parque Nacional Bosencheve, inmediaciones a Villa Victoria, San Felipe del Progreso y Loma de Juárez en el Estado de México (Lemos-Espinal, 2003b), entre Taxco y Tetipac, Guerrero (Flores-Villela y Hernández-García, 1989).

8. 1. 6. *Ajolote tarahumara* (*Ambystoma rosaceum*)

Los adultos transformados van de color café oscuro a casi negros con puntos pequeños blancos o amarillos, más numerosos en los costados que en el dorso, y el vientre del café al crema. Las larvas son de color oscuro, lo cual contrasta con el color del vientre que es claro (Lemos-Espinal *et al.*, 2015). Se distribuye en la Sierra Madre Occidental que incluye a los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Nayarit y Jalisco (Frost, 2019)

8. 1. 7. *Salamandra del bosque de pino* (*Ambystoma silvense*)

Los adultos transformados tienen el fondo de color claro marcado con manchas oscuras irregulares (Lemos-Espinal *et al.*, 2015). Se distribuye en Navíos, El Salto y Otinapa en Durango y Mimbres y Temosachic en Chihuahua (Webb *et al.*, 2008; Frost, 2019).

8. 2. Los ajolotes de lagos o presas

8. 2. 1. *Achoque de Zacapu o Salamandra de Anderson* (*Ambystoma andersoni*)

El cuerpo de este ajolote es de color naranja oscuro con numerosos puntos negros sobre todo el cuerpo (Huacuz, 2001). Se encuentra en Lago Zacapu, Michoacán (Huacuz, 2001; Frost, 2019).

8. 2. 2. *Ajolote de cabeza chata* (*Ambystoma amblycephalum*)

Presenta manchas claras moderadamente grandes, confinadas a una hilera ventrolateral de cada lado; en ocasiones estas manchas pueden formar una línea clara ventrolateral (Huacuz, 2001). Se distribuye en Tacícuaro, en el noroeste de Michoacán; sin embargo, no hay registros recientes de la especie (Huacuz, 2001).

8. 2. 3. *Ajolote de Pátzcuaro* (*Ambystoma dumerilii*)

El color es rojo violeta mezclado con pardo, mucho más claro en las partes inferiores, la garganta y pecho de color blanco, los costados presentan manchas blanquecinas y las branquias de color negro (Huacuz, 2001). Se encuentra en el Lago Pátzcuaro, Michoacán y posiblemente en San Juan del Río, Querétaro (Frost, 2019).

8. 2. 4. *Ajolote de Chapala* (*Ambystoma flavipiperatum*)

Su color va de café a café amarillento con manchas negras redondeadas y pequeñas manchas amarillas en el dorso del cuerpo, aleta, patas y los costados y el vientre es de color claro con una marcada línea media oscura. Los adultos terrestres son de color gris oscuro con manchas amarillas en el dorso (Santiago-Pérez *et al.*, 2012). Se distribuye en Santa Cruz y Quila el Grande, ambos localizados en el estado de Jalisco (Frost, 2019).

8. 2. 5. *Ajolote granulado* (*Ambystoma granulosum*)

El color es amarillo olivo en todo el cuerpo y cola, en la parte dorsal la tonalidad es un poco más oscura y el vientre es de color amarillo opaco, con manchas en el dorso y los costados. Las larvas son verdes con pocas manchas o sin ellas. Se reporta para Almoloya de Juárez, Villa Victoria, Zinacantepec y Toluca, Estado de México (Frost, 2019).

8. 2. 6. *Ajolote de Lerma* (*Ambystoma lermaense*)

El color es negro uniforme, más claro en la región del vientre, y cuando se transforma el color puede ser grisáceo. En la actualidad se limita al Área de Protección de Flora y Fauna Ciénagas de Lerma, en cuatro localidades distribuidas en las lagunas de Chiconahuapan (Almoloya del Río), Chimaliapan (San Pedro Tultepec) y laguna Chignahuapan (San Nicolás Peralta) y en las localidades Tenango, Santa María, Jajalpa y San Pedro, en el Estado de México (Frost, 2019).

8. 2. 7. *Ajolote tigre rayado* (*Ambystoma mavortium*)

Las larvas presentan un color amarillo uniforme, a veces con algunas marcas oscuras. Cuando se transforman la piel se oscurece y aparecen puntos claros (Lemos-Espinal *et al.*, 2015). Está ampliamente distribuido en el este y centro de los Estados Unidos y sur centro de Canadá, extendiéndose hacia el sur hasta el estado de Puebla, también en algunas localidades del Desierto Chihuahuense en el extremo este del norte centro de Chihuahua y extremo sureste de Coahuila y en el Desierto Sonorense en el extremo noreste de Sonora cerca de la frontera y en Puerto Peñasco (Lemos-Espinal *et al.*, 2015) y Nuevo León (Lemos-Espinal *et al.*, 2016).

8. 2. 8. *Ajolote mexicano o ajolote de Xochimilco* (*Ambystoma mexicanum*)

El color en los adultos es café oscuro, con grandes manchas dispersas en todo el cuerpo, la parte lateral inferior del cuerpo y garganta es de color amarillo y la punta de los dedos de color crema (Ramírez-Bautista *et al.*, 2009). Sólo se encuentra en los remanentes de los canales de Xochimilco (Frost, 2019).

8. 2. 9. *Salamandra tigre del altiplano* (*Ambystoma subsalsum*)

El color del cuerpo va de gris opaco a negruzco, con cuatro manchas irregulares de color crema en el dorso; el vientre también es color crema y se oscurece hacia el abdomen. Se encuentra en Durango y Zacatecas y presumiblemente en Puebla (Frost, 2019).

8. 2. 10. Ajolote de Alchichica (*Ambystoma taylori*)

Las larvas son de color amarillo brillante con numerosas manchas oscuras y los adultos ya transformados son de color oscuro, con manchas pareadas color crema en el dorso. Presentan un par de manchas claras detrás de los ojos y una mancha clara justo atrás de la cabeza. Sólo se encuentra en la laguna de Alchichica, Puebla (Frost, 2019).

8. 2. 11. Ajolote del Altiplano (*Ambystoma velasci*)

El color de fondo es café claro con una serie de puntos oscuros y blancos o crema en todo el cuerpo, también pueden presentar manchas amarillas o verde olivo esparcidas irregularmente en el dorso y los lados del cuerpo y el vientre es más claro que la región dorsal del cuerpo, también con puntos (Huacuz, 2001; Ramírez-Bautista *et al.*, 2009). Se distribuye en el noroeste y sur de Chihuahua a lo largo de la ladera oriental de la Sierra Madre Occidental y del sur de Nuevo León a Hidalgo en la Sierra Madre Oriental, al oeste de Zacatecas y al sur del Eje Volcánico Transversal del centro de México (Frost, 2019).

PERSPECTIVAS DE CONSERVACIÓN

Aun cuando los ajolotes siempre han tenido una alta relevancia cultural y económica desde épocas prehispánicas, muchas de las especies del género *Ambystoma* son poco conocidas en México, sobre todo en zonas donde no tienen una distribución natural. Las excepciones parecen ser el ajolote mexicano (*A. mexicanum*) y tal vez el ajolote michoacano o achoque (*A. dumerilii*). Todavía se conoce relativamente poco sobre la ecología de las diferentes especies de ajolotes, por lo que es muy importante continuar haciendo proyectos de ciencia básica para obtener información relevante, en particular de los menos conocidos. El conocimiento de las especies ayuda a entenderlas y contribuye a clarificar algunos mitos y leyendas que se manejan alrededor de los ajolotes.

Los proyectos de investigación que involucren el monitoreo y estudio de las diferentes poblaciones de ajolotes son fundamentales para evaluar su situación actual y así poder implementar estrategias de conservación efectivas e incluso establecer programas de aprovechamiento que no pongan en riesgo su existencia para el futuro. Es vital también considerar el componente humano, un aspecto clave para obtener resultados positivos en las estrategias, ya que esto permite capacitar a las personas en la aplicación de estrategias de conservación, como la instalación de criaderos y unidades de manejo y aprovechamiento reguladas (UMA). Se deben atender también cuestiones que repercuten en la calidad del hábitat de las especies de ajolotes: la reforestación de bosques y la restauración y cuidado de los diferentes cuerpos de agua (ríos, presas, arroyos, pozas, etc.). Además, resulta conveniente organizar talleres de educación y sensibilización ambiental entre los pobladores de las regiones donde aún se aprovechan y se distribuyen los ajolotes, por lo que cabría involucrar, por ejemplo, a las escuelas y organizaciones civiles locales. Asimismo, es necesario promover la colaboración entre instituciones educativas, de gobierno y las personas directamente involucradas con el éxito de conservación de las especies, como pueden ser los comuneros, ejidatarios y habitantes locales, especialmente con quienes aún dependen de las actividades lacustres. En suma, una estrategia integral de acciones coordinadas en torno a los ajolotes y su hábitat permitirán su conservación y su permanencia futura para que las siguientes generaciones puedan disfrutarlos y posiblemente descubrir más secretos en beneficio del ser humano y otras especies.

CONCLUSIONES

México posee poco más de la mitad de las especies conocidas del género *Ambystoma*, pero la mayoría de ellas se encuentran en una categoría de riesgo a nivel nacional y todas a nivel internacional. Existe un alto nivel de desinformación respecto a esta especie, a pesar de la relevancia cultural que históricamente ha tenido en nuestro

territorio. La información en este artículo pretende que los lectores conozcan la diversidad de ajolotes presentes en México, así como algunos de los aspectos más distintivos de su biología e importancia ecológica y la relación que tiene con el ser humano. No obstante, la información que se presenta aún no está completa y para muchas de las especies no se conoce con precisión su distribución actual ni se tienen datos sobre los aspectos básicos de su biología.

Referente a este artículo, se revisaron los factores de riesgo para las especies, los cuales involucran actividades humanas como la extracción desmedida para el consumo y venta de los organismos y la urbanización, que propicia la fragmentación y contaminación de su hábitat. Por ello es necesario y muy urgente plantear estrategias integrales de conservación que incluyan tanto el estudio de la biología de las diferentes especies de ajolotes (y no solamente de *A. mexicanum*), sus dinámicas poblacionales y su distribución remanente. No obstante, el asunto de la conservación de los ajolotes, como de toda la biodiversidad, requiere la participación conjunta de los diferentes sectores de la sociedad humana que están relacionados tanto con estos anfibios como con el uso de sus hábitats. Como en toda estrategia de conservación, se comienza por difundir el conocimiento que se tiene sobre las distintas especies de ajolotes, sus características, distribución, importancia y las causas del declive de sus poblaciones con el fin de motivar su conservación en tanto que todavía hay tiempo para evitar su desaparición.

REFERENCIAS

- Aguilar-Miguel, X. (2005). *Ambystoma bombypellum*. Algunas especies de anfibios y reptiles contenidos en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Aguilar-Moreno, R. y Aguilar-Aguilar, R. (2019). El mítico monstruo del lago: la conservación del ajolote de Xochimilco. *Revista Digital Universitaria*, 20(1), 1-15. <https://doi.org/10.22201/codi.16076079e.2019.v20n1.a1>
- Amamoto, R., Huerta, V. G., Takahashi, E., Dai, G., Grant, A. K., Fu, Z., & Arlotta, P. (2016). Adult axolotls can regenerate original neuronal diversity in response to brain injury. *eLife*, 5. <https://doi.org/10.7554/eLife.13998>
- Bizer, J. R. (1978). Growth rates and size at metamorphosis of high elevation populations of *Ambystoma tigrinum*. *Oecologia*, 34, 175-184.
- Brunkow, P. E., & Collins, J. P. (1996). Effects of individual variation in size on growth and development of larval salamanders. *Ecology*, 77, 1483-1492.
- Carlson, B. M. (2007). *Principles of regenerative biology*. Amsterdam; Burlington, M. A.: Elsevier/Academic Press.
- Carrillo-Trueba, C. (2010). Una afortunada conjunción de ciencia y religión. *Ciencias*, 98, 60-63.
- Casas Andreu, G., Cruz Aviña, R. y Aguilar Miguel, X. (2003). Un regalo poco conocido de México al mundo: el ajolote o axolotl (*Ambystoma*: Caudata: Amphibia) con algunas notas sobre la crítica situación de sus poblaciones. *CIENCIA ergo-sum*, 10(3), 304-308.
- Clare, J. P. (2012). *Genetics and colour*. Disponible en <http://www.axolotl.org/genetics.htm>
- Cota-Hiriart, A. (2016). *El ajolote. Biología del anfibio más sobresaliente del mundo*. México: Elefanta del Sur. Secretaría de Cultura.
- Flores-Villela, O., & Hernández-García, E. (1989). New State records from Northern Guerrero, México. *Herpetological Review*, 20(1), 15-16.

- Freitas, P. D., Yandulskaya, A. S., & Monaghan, J. R. (2019). Spinal cord regeneration in amphibians: A historical perspective. *Developmental neurobiology*, 79(5), 437-452.
- Frost, D. R. (2019). *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 6.0. Retrieved from http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/index.php//content/search?taxon=Ambystoma&subtree=&subtree_id=&english_name=&author=&year=&country=525.
- Frost, S. K., Briggs, F., & Malacinski, G. M. (1984a). A color atlas of pigment genes in the Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Differentiation*, 26(1-3), 182-188.
- Frost, S. K., Epp, L. G., & Robinson, S. J. (1984b). The pigmentary system of developing axolotls: II. An analysis of the melanoid phenotype. *Development*, 81(1), 127-142.
- García-Rodríguez, I. B. (2013). *Algunos aspectos ecológicos y reproductivos del ajolote (Ambystoma altamirani, Dugés, 1895) del municipio de Jilotzingo, Estado de México* (tesis de licenciatura). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Galliot, B., & Ghila, L. (2010). Cell plasticity in homeostasis and regeneration. *Molecular Reproduction and Development*, 77(10), 837-855.
- González-Martínez, T. M., Galicia-Valdés, A. y Ávila-Akerberg, V. (2014). Conservación del ajolote de montaña (*Ambystoma altamirani*) en bosques templados con alta presión antrópica, en Aguirre, P. y Muñoz, R. (comps.). *Memorias del Simposio Internacional Biodiversidad, Conocimiento local y cambio climático en la Región Andino Amazónica: muchos desafíos un solo objetivo* (pp. 179-187). Alemania: Cuvillier Verlag, Göttingen.
- González, H. A., Castelán, H. J., Servín, E., Barrera, H., Leal, J., Serrano, M. y Monroy, H. (2017). *Manual de manejo bajo cuidado humano achoque (Ambystoma dumerilii)*. Estado de México: Parque Ecológico de Zacango.
- Gould, S. J. (1977). *Ontogeny and phylogeny*. Cambridge: Belknap Press.
- Huacuz, E. D. (2001). *Estado de conservación del género Ambystoma en Michoacán, México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Johnson, C. K., & Voss, S. R. (2013). Salamander paedomorphosis: linking thyroid hormone to life history and life cycle evolution. *Current Topics in Developmental Biology*, 103, 229-258.
- Kragl, M., Knapp, D., Nacu, E., Khattak, S., & Maden, M. (2009). Cells keep a memory of their tissue origin during axolotl limb regeneration. *Nature*, 460, 60-65.
- Lemos-Espinal, J. A. (2003a). *Rhyacosiredon altamirani*. Fichas diagnósticas para 10 especies de anfibios y reptiles mexicanos. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W002. México. D.F.
- Lemos-Espinal, J. A. (2003b). *Rhyacosiredon rivularis*. Fichas diagnósticas para 10 especies de anfibios y reptiles mexicanos. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W002. México. D.F.
- Lemos-Espinal, J., Smith, H. M., Dixon, J. R., & Cruz, A. (2015). *Anfibios y reptiles de Sonora, Chihuahua y Coahuila, México. Tomo I*. CONABIO.
- Lemos-Espinal, J. L., Smith, G. S., & Cruz, A. (2016). Amphibians and Reptiles of the state of Nuevo León, Mexico. *ZooKeys*, 594, 123-141.
- McCusker, C., Bryant, S. V., & Gardiner, D. M. (2015). The axolotl limb blastema: Cellular and molecular mechanisms driving blastema formation and limb regeneration in tetrapods. *Regeneration*, 2(2), 54-71.

- Maden, M., Manwell, L. A., & Ormerod, B. K. (2013). Proliferation zones in the axolotl brain and regeneration of the telencephalon. *Neural Development*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/1749-8104-8-1>.
- Mescher, A. L. (2004). The cellular basis of limb regeneration in urodeles. *International Journal of Developmental Biology*, 40(4), 785-795.
- Mescher, A. L., & Neff, A. W. (2005). Regenerative capacity and the developing immune system. *Regenerative medicine I* (pp. 39-66). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Neuhauss, S. C. (2003). Behavioral genetic approaches to visual system development and function in zebrafish. *Journal of Neurobiology*, 54, 148-160.
- Oviedo, N. J., & Beane, W. S. (2009). Regeneration: The origin of cancer or a possible cure? *Seminars in cell & developmental biology*, 20(5), 557-564.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., García-Vázquez, U. O., Leyte-Manríque, A., & Canseco-Márquez, L. (2009). *Herpetofauna del Valle de México: diversidad y conservación*. UAEH. CONABIO.
- Roy, S., & Lévesque, M. (2006). Limb Regeneration in Axolotl: Is It Superhealing? *The Scientific World Journal*, 6, 12-25.
- Roy, S., & Gatién, S. (2008). Regeneration in axolotls: A model to aim for! *Experimental Gerontology*, 43(11), 968-973.
- Santiago-Pérez, A. L., Domínguez-Laso, M., Rosas-Espinoza, V. C. y Rodríguez-Canseco, J. M. (2012). *Anfibios y reptiles de las montañas de Jalisco: Sierra de Quila*. Universidad de Guadalajara, CONABIO, COATZIN, SHM.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: Protección de especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. México.
- Shaffer, H. B. (1989). Natural history, ecology, and evolution of the Mexican "Axolotls". *Axolotl Newsletter*, 18, 5-12.
- Shaffer, H. B., Parra-Olea, G., Wake, D., & Flores-Villela, O. (2008). *Ambystoma altamirani*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T59049A11875320.
- Stephan, E. & Ensástigue, J. (2001). *El ajolote, otro regalo de México al mundo*. *Biodiversitas*, 35, 7-11.
- Stocum, D. L., & Cameron, J. A. (2011). Looking proximally and distally: 100 years of limb regeneration and beyond. *Developmental Dynamics*, 240(5), 943-968.
- Suetsugu-Maki, R., Maki, N., Nakamura, K., Sumanas, S., Zhu, J., Del Rio-Tsonis, K., & Tsonis, P. A. (2012). Lens regeneration in axolotl: New evidence of developmental plasticity. *BMC Biology*, 10(103), 1-8.
- Swingle, W. W. (1922). Spontaneous metamorphosis of the american axolotl. *The American Naturalist*, 56(647), 560-567.
- Tihen, J. A. (1969). *Ambystoma*. *Catalogue of American Amphibians and Reptiles*, 75.1-75.4
- Velarde-Mendoza, T. (2012). Importancia ecológica y cultural de una especie endémica de ajolote (*Ambystoma dumerilii*) del lago de Pátzcuaro, Michoacán. *Etnobiología*, 10(2), 40-49.
- Voss, S. R., Epperlein, H. H., & Tanaka, E. M. (2009). *Ambystoma mexicanum*, the axolotl: A versatile amphibian model for regeneration, development, and evolution studies. *Cold Spring Harbory Protocols*, 4(8), 1-8.
- Wakahara, M. (1996). Heterochrony and neotenic salamanders: Possible clues for understanding the animal development and evolution. *Zoological Science*, 13, 765-776.

- Webb, R., Wake, D., Parra-Olea, G., & Papenfuss, T. (2008). *Ambystoma silvense*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T61893A12563435. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T61893A12563435.en>.
- Wilbur, H. M., & Collins, J. P. (1973). Ecological aspects of amphibian metamorphosis. *Science*, 182, 1305-1314.
- Zambrano, L., Mosig Reidl, P., McKay, J., Griffiths, R., Shaffer, H., Flores-Villela, O., Parra-Olea, G., & Wake, D. (2010). *Ambystoma mexicanum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T1095A3229615. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T1095A3229615.en>.

CC BY-NC-ND