

# FACTORES AMBIENTALES QUE FAVORECEN LA REPRODUCCIÓN DEL AXOLOTE DE XOCHIMILCO BAJO CUIDADO HUMANO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

## ENVIRONMENTAL FACTORS THAT PROMOTE THE REPRODUCTION OF THE XOCHIMILCO AXOLOTL UNDER HUMAN CARE: A SYSTEMATIC REVIEW

Sergio García-Dávila<sup>1\*</sup> & Valeria Aguilar-Sánchez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa Propedéutico en Medicina de Fauna Silvestre, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup>Departamento de Etología, Fauna Silvestre y Animales de Laboratorio, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

\*Correspondence: [sergio.garciadav@gmail.com](mailto:sergio.garciadav@gmail.com)

Received: 2023-07-18. Accepted: 2023-10-16. Published: 2023-12-06.

Editor: Ana Gatica Colima, México.

**Abstract.**— The Xochimilco's Axolotl is a critically endangered amphibian, and its population has been declining due to habitat loss from anthropogenic activities. Currently this situation has resulted in ex-situ conservation efforts by creating breeding axolotl colonies under professional care. Therefore, the objective of this systematic review was to answer the question: what are the environmental factors that promote the Xochimilco Axolotl's reproduction under professional care? For this, a systematic review was carried out using inclusion and exclusion criteria filters that were previously established specifically for document selection describing environmental factors focused on the Xochimilco Axolotl. The following bibliographic data base were used: ScienceDirect, RedALYC, sciELO. Also three search engines were used: Google Scholar, BIDIUNAM and ResarchGate from November to December 2022. As a result, a totoal of 6,049 documents were gathered, of which 19 documents were eligible for the systematic review considering the inclusion and exclusion criteria filters. The environmental factors reported that promote Xochimilco Axolotl reproduction are temperature, water quality, dimensions and environmental enrichment, axolotl characteristics and photoperiod. Most of the authors concur that these factors should be used together for successful reproduction. However, qualitative studies are necessary to better establish scientific evidence at the time of evaluating these environmental factors. The aim of the present review is to inform the reader about the factors that allow successful axolotl reproduction under professional care and to improve its conservation.

**Keywords.**— *Ambystoma mexicanum*, photoperiod, temperature, water quality.

**Resumen.**— El Axolote de Xochimilco es un anfibio en peligro de extinción, endémico del Lago de Xochimilco. Su población ha disminuido debido a la pérdida de su hábitat ocasionado por factores antropogénicos. Esto ha llevado a que se realicen esfuerzos de conservación ex-situ en colonias de axolotes mediante su reproducción bajo cuidado humano. Por ello, el propósito de esta revisión sistemática es responder a la pregunta ¿Cuáles son los factores y parámetros ambientales que favorecen la reproducción del Axolote de Xochimilco bajo cuidado humano? Se elaboró una revisión sistemática con base a criterios de inclusión y exclusión que se establecieron previamente para la selección de documentos enfocados únicamente en la descripción de factores ambientales

relacionados con la reproducción del Axolote de Xochimilco. Para ello, se utilizaron los siguientes tres motores de búsqueda: Google Académico, ResearchGate y BIDIUNAM. Y tres bases de datos bibliográficas: ScienceDirect, RedALYC y sciELO, Esta revisión se realizó de noviembre a diciembre del 2022. Se obtuvieron un total de 6,049 resultados, de los cuales se incluyeron 19 documentos finales de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión utilizados. De esta búsqueda, los factores encontrados que influyen en la reproducción del axolote son: temperatura, calidad del agua, dimensiones y ambientación del alojamiento, características de los ejemplares y fotoperiodo. La mayoría de los autores coinciden en el manejo de dichos factores para obtener un éxito reproductivo. Sin embargo, es necesario realizar un estudio cuantitativo para establecer evidencia estadística que genere un grado de confianza mayor respecto al éxito reproductivo. La finalidad de la revisión es informar al lector los factores que facilitan la reproducción con éxito del axolote bajo cuidado humano y motivar a su conservación.

**Palabras clave.**— *Ambystoma mexicanum*, calidad del agua, fotoperiodo, temperatura.

## INTRODUCCIÓN

Shaw y Nodder describieron al Axolote de Xochimilco por vez primera en el año de 1798 clasificándolo dentro del Reino: Animalia, Clase: Amphibia, Orden: Caudata, Familia: Ambystomatidae, Género: *Ambystoma*, bajo el nombre de *Gyrinus mexicanum* (hoy bajo el nombre de *Ambystoma mexicanum*). Es un anfibio, perteneciente al orden de las salamandras y comparte el género con otras 32 especies de *Ambystoma* (AmphibiaWeb, 2022; ITIS, 2022).

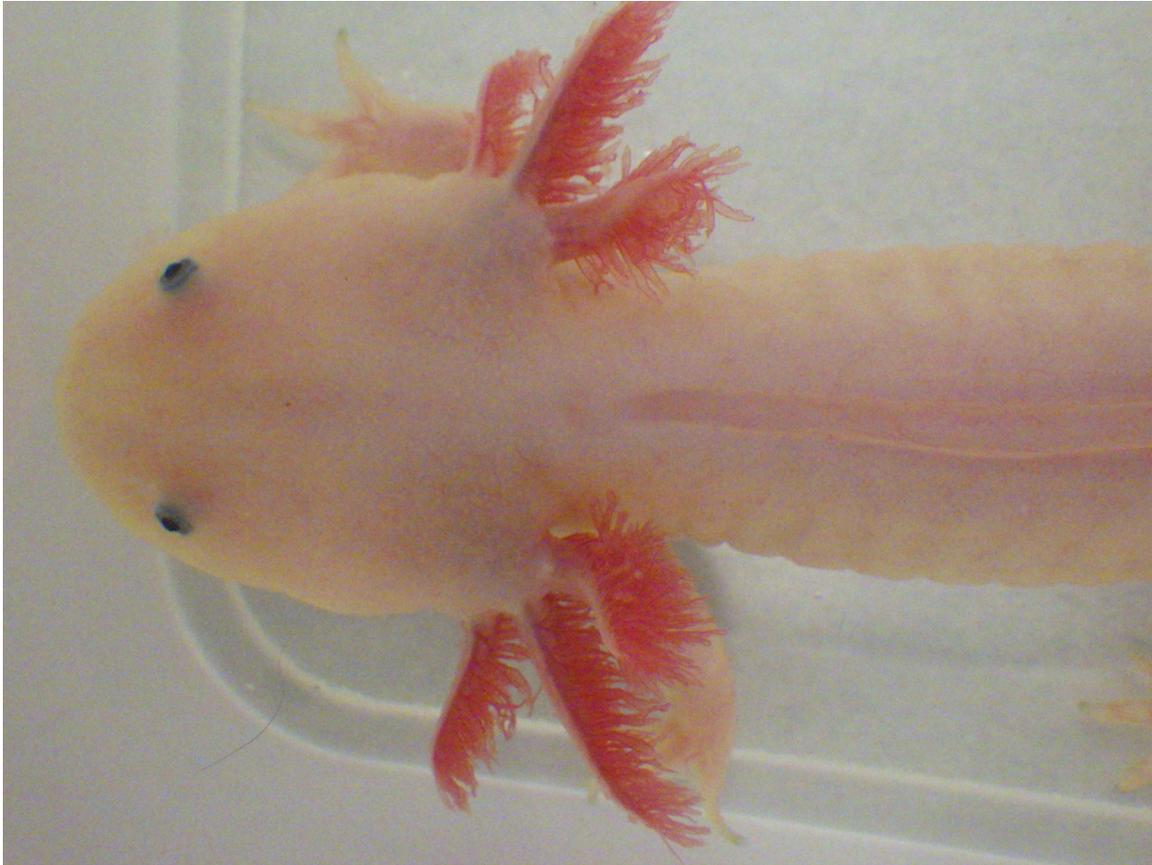
En México, la distribución de la familia Ambystomatidae se resume en la presencia de un solo género, *Ambystoma*, en el que se encuentran 18 especies en territorio mexicano, de las que 16 especies son endémicas. Lo que representa un 88.8% de endemismo del género *Ambystoma* (Parra-Olea et al., 2014). Actualmente, 15 de las 16 especies endémicas se encuentran enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en alguna categoría de riesgo; tres especies se encuentran clasificadas como amenazadas, 11 como sujetas a protección a especial, y una sola especie (*A. mexicanum*) se encuentra clasificada como en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, por sus siglas en español) dentro de la Lista Roja lo enlista como en “Peligro Crítico” (UICN, 2020). Mientras que la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés) lo clasifica dentro del Apéndice II (CITES, 2022).

Por otra parte, el Axolote de Xochimilco ha sido una especie de interés científico debido a su asombrosa capacidad de regeneración tisular, lo que lo ha convertido en un modelo de investigación biomédica (Molina Vázquez, 2010). Para realizar dichas investigaciones o mantener programas de conservación se necesitan colonias de axolotes con condiciones específicas para permitir la reproducción de la especie. Se tiene conocimiento que en su hábitat natural la temperatura del Lago

de Xochimilco se encuentra en un rango de 16-20°C y un pH de 7.4-8.2 (Shaffer, 1989). Podría considerarse que estos serían los únicos factores ambientales que se encuentran reportados en vida libre a conocimiento del autor. Por lo tanto, se infiere que la presencia de estos factores en el hábitat natural de esta especie permite la reproducción del Axolote de Xochimilco y que la presencia de estos factores bajo cuidado humano debería de impactar de igual forma.

Por otra parte, Ramos et al. (2021) reporta que los factores de pH, temperatura, salinidad y niveles de oxígeno en el agua permiten el apareamiento de los ejemplares, fertilización y ovoposición, así como el desarrollo embrionario de forma ex-situ. Es importante destacar que ambos trabajos se hicieron en lagos, con la distinción de que el primero se realizó en el hábitat natural de la especie y el segundo de forma ex-situ en condiciones naturales en un medio controlado. Se piensa por lo tanto que estos factores podrían estar presentes en laboratorios o colecciones de axolotes y no precisamente estar descritos como factores necesarios para llevarse a cabo la reproducción del Axolote de Xochimilco.

Por otra parte Aguilar-Miguel et al. (2009) reporta mantener en un rango de temperatura de 15-25°C en época reproductiva para la colonia de axolotes que aloja bajo condiciones de laboratorio para las especies *A. granulosum* y *A. lermaense*. Sin embargo, no utiliza un método experimental para comprobarlo, si no una observación personal que tuvo como resultado la reproducción de los axolotes. En cuanto a características físicas que permitan determinar si los ejemplares se encuentran en etapa reproductiva y aptos para ser seleccionados como pie de cría, se reporta en el macho se observa la inflamación de los márgenes cloacales con un cuerpo delgado. En el caso de la hembra la presencia de un abdomen abultado (Khattak et al., 2014). De esta manera, estas características también se consideran como un factor que



**Figura 1.** Axolote de Xochimilco o Mexicano, *Ambystoma mexicanum*.

**Figure 1.** Xochimilco or Mexican axolotl, *Ambystoma mexicanum*.

indica que están listos para reproducirse (Estrada Romero, 2015; Gresens, 2004; Jacinto López, 2022; Khattak et al., 2014; Mena González & Montes de Oca, 2014; Mena González & Zamora, 2014).

Es así, que el propósito de esta revisión sistemática es proveer la información existente en los medios electrónicos acerca de cuáles son los factores ambientales que impactan de manera positiva en la reproducción bajo cuidado humano del Axolote de Xochimilco, y de qué manera los autores miden este impacto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se partió de la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los factores y parámetros ambientales que favorecen la reproducción del Axolote de Xochimilco bajo cuidado humano? Así, se llevó a cabo una revisión sistemática durante los meses noviembre a diciembre del año 2022 en la que se realizó la búsqueda de información relacionada con la reproducción del

*A. mexicanum* bajo cuidado humano. Para ello, se utilizaron las siguientes palabras clave que fueron elegidas mediante la inclusión de las diferentes formas de nombrar al axolote: “*Ambystoma mexicanum*”, “Ajolote Xochimilco”, “Ajolote mexicano”, “Axolote mexicano”, “Axolote Xochimilco”, “Mexican axolotl”. Así mismo se utilizaron únicamente las palabras “Reproducción” y “Reproduction” como claves para encontrar información pertinente al tema de reproducción y de esta manera obtener los factores que describieran los autores como esenciales para lograr la reproducción del Axolote de Xochimilco. Así, se formularon ecuaciones de búsqueda unidas por el operador booleano “AND” que en la investigación se reemplazó por el símbolo de “+” seguido de la palabra “Reproducción” o “Reproduction” resultando en la siguiente forma: “*Ambystoma mexicanum* + “Reproducción”, “Ajolote Xochimilco” + “Reproducción”, “Ajolote mexicano” + “Reproducción”, “Axolote mexicano” + “Reproducción”, “Axolote Xochimilco + “Reproducción”, “Mexican axolotl” + “Reproduction”, “*Ambystoma mexicanum*” + “Reproduction”. En estas dos últimas ecuaciones se agregó el

**Table 1.** Exclusion and inclusion criteria filters for the document selection in the electronic media.**Tabla 1.** Criterios de inclusión y exclusión para la selección de documentos en los medios electrónicos.

| Criterios inclusión   | Criterios exclusión   |
|---|---|
| Documentos que describan factores ambientales que favorezcan la reproducción solamente del <i>Ambystoma mexicanum</i> .   | Documentos sobre factores ambientales que favorezcan la reproducción en otras especies de <i>Ambystoma</i> sp. distintas al <i>A. mexicanum</i> .   |
| Idioma español e inglés.  | Idioma que no sean español e inglés.  |
| Artículos de divulgación y científicos, tesis de pre y posgrado, libros completos, informes, manuales, comunicaciones personales y páginas web de fácil acceso. | Artículos o libros incompletos, y sin accesibilidad.  |
| Referencias primarias de los documentos seleccionados.  | Documentos que no presentaran las referencias primarias utilizadas.   |
| Cualquier periodo de tiempo.  | Archivos que hablan sobre la reproducción del axolote, pero mediante la implementación de tratamientos hormonales, técnicas de inseminación artificial, fertilización in vitro u otros factores artificiales. |

operador booleano “NOT” utilizando el símbolo “-” seguido de la palabra “Regeneration” debido a que durante la investigación la gran mayoría de los resultados obtenidos hacían referencia al tema de regeneración. Por lo que se redefinieron las siguientes ecuaciones: “Mexican axolotl” + “Reproduction” - “Regeneration”, “*Ambystoma mexicanum*” + “Reproduction” - “Regeneration”. Como criterios de inclusión, se aceptaron artículos científicos, de divulgación, tesis, informes o reporte de actividades relacionados con el manejo para la reproducción del Axolote de Xochimilco mediante factores ambientales, notas científicas y documentos en los que reportaran la experiencia personal del investigador. No se estableció un periodo estricto de tiempo, por lo que la información podía abarcar cualquier año. Así mismo, los idiomas establecidos fueron el inglés y español, ya que son los idiomas de dominio por parte de los autores. Como criterios de exclusión se descartaron aquellos documentos que no fueran accesibles, estuvieran incompletos o no se encontraran las referencias primarias dentro del documento.

De acuerdo con estos criterios, se realizó un primer filtrado de la información mediante el descarte de aquellos resultados que no contuvieran las palabras clave o que utilizaran palabras relacionadas con el uso de fármacos artificiales para permitir la reproducción del Axolote de Xochimilco. Posterior a ello, se realizó un segundo filtrado con el descarte de aquellos documentos que en el resumen o mediante la búsqueda de las palabras clave dentro del documento no hablaran de la reproducción del Axolote de Xochimilco respecto al manejo de los ejemplares y tampoco describieran factores ambientales que permitieran la reproducción del axolote. Posteriormente, se seleccionaron los

documentos relacionados al tema mediante la lectura completa de los mismos. Se desecharon los documentos seleccionados duplicados. Esta búsqueda se realizó mediante los siguientes tres motores de búsqueda: Google Académico, Biblioteca Digital Universidad Nacional Autónoma de México (BIDI UNAM) y ResearchGate. Y en tres bases de datos bibliográficas, RedALYC, SciELO y ScienceDirect (ver Tabla 1). Esta revisión fue realizada por un solo autor.

La literatura recabada fue documentada mediante el gestor de referencias Mendeley<sup>®</sup> Reference Manager (Elsevier, 2022) para asegurar el citado correcto de las referencias utilizadas. Por otra parte, se realizó una bitácora en Microsoft<sup>®</sup> Excel (Microsoft<sup>®</sup> 365) cuyo propósito fue el de realizar una clasificación de los documentos encontrados de acuerdo con la ecuación de búsqueda empleada, motor de búsqueda utilizado y características del archivo (autor, título, año y tipo de publicación) fungiendo como respaldo de la información encontrada, así como contabilizar el total de archivos obtenidos y duplicados. Cabe destacar que no en todos los motores de búsqueda o bases de datos se obtuvieron documentos para el uso de ellos en la revisión sistemática. En la sección de resultados se describe en Tabla 2 los documentos más representativos de cada motor de búsqueda o base de datos bibliográfica utilizada.

## RESULTADOS

Se obtuvieron seis documentos de 6049 resultados por las ecuaciones de búsqueda incluyendo 12 documentos consecuente

**Table 2.** Key documents found according to search engine and key word applied.**Tabla 2.** Documentos clave encontrados de acuerdo con el motor de búsqueda utilizado junto con la palabra clave utilizada.

| Motor de búsqueda | Documento clave  | Palabra clave                                  |
|-------------------|--|--|
| Google Académico  | Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina veterinaria aplicada al ajolote de Xochimilco ( <i>Ambystoma mexicanum</i> ) en el zoológico de Chapultepec (Servín Zamora, 2011) | " <i>Ambystoma mexicanum</i> " +"reproducción" |
| ResearchGate      | Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco ( <i>Ambystoma mexicanum</i> ) (Mena González & Zamora, 2014)  | " <i>Ambystoma mexicanum</i> " +"reproducción" |
| BIDIUNAM          | El ajolote <i>Ambystoma mexicanum</i> : Su manejo y reproducción en cautiverio (Estrada Romero, 2015)  | " <i>Ambystoma mexicanum</i> " +"reproducción" |

de la búsqueda manual de las referencias primarias de los documentos encontrados, una página de internet y un repositorio dedicados a difundir información exclusivamente del Axolote de Xochimilco. En total se consideraron 19 documentos dentro de la revisión, seleccionados con rigurosidad con base en los niveles de evidencia de investigación actuales que rigen a los documentos publicados, ya que, aunque la finalidad de la revisión era brindar al lector la cantidad de información disponible en los medios electrónicos, así también tuvo por objetivo el dar a conocer la calidad de esta.

A continuación, se precisa el tipo de información encontrada y su proporción numérica en forma de porcentaje. De los 19 documentos recopilados, uno (5.26%) es un informe de servicio social para obtención del grado de licenciatura, dos (10.52%) corresponden a tesis de licenciatura, dos (10.52%) corresponden a manuales de trabajo, uno (5.26%) a libro electrónico, cinco (26.31%) corresponden a artículos de divulgación, tres (15.78%) a informes científicos, cuatro (21.05%) a artículos de investigación científica y por último una (5.26%) página web. Cabe mencionar que la metodología empleada se encuentra contenida y detallada en el diagrama de flujo de la Figura 1.

Con ello, se encontraron seis factores ambientales reportados comúnmente por la mayoría de los autores que influyen en la reproducción del Axolote de Xochimilco bajo cuidado humano. Por lo que se presentan a continuación en forma de apartados con subtítulos.

### Temperatura

Este parámetro fue reportado en 11 de 19 documentos representando el 57.89% de los resultados obtenidos (Clare, 2019; Duhon, 1987; Estrada Romero, 2015; Farkas & Monaghan,

2015; Fox, 1984; Hincapie et al., 2022; Jacinto López, 2022; Khattak et al., 2014; Mena González & Montes de Oca, 2014; Mena González & Zamora, 2014; Ramos et al., 2021; Servín Zamora, 2011). Así mismo, se encuentran reportados distintas mediciones de temperatura como propicias para que se lleve a cabo la reproducción del Axolote de Xochimilco. Sin embargo, al realizar la revisión de estos documentos se obtuvo como promedio una temperatura de 15.91°C, mientras que la máxima fue de 20°C y la mínima de 10°C. Sin embargo, ningún autor refiere a la temperatura como el factor principal para que se lleve a cabo la reproducción de los ejemplares. Pero sí un parámetro determinante para que se lleve a cabo el cortejo entre macho y hembra.

### Enriquecimiento ambiental

En 13 de 19 documentos, que representa el 68.42% de documentos mencionan el enriquecimiento ambiental como factor determinante para que se lleve a cabo la reproducción del Axolote de Xochimilco (Estrada Romero, 2015; Farkas & Monaghan, 2015; Gresens, 2004; Hincapie et al., 2022; Khattak et al., 2014; Mena González & Montes de Oca, 2014; Mena González & Zamora, 2014; Ramos et al., 2021; Rosales-Peña & Ríos Vargas, 2021; Servín Zamora, 2011; Stephan Otto & Ensástigue López, 2001; Zambrano et al., 2007). En específico, hacen referencia al sustrato o algún tipo de material sobre el que el espermatóforo liberado por el macho pueda depositarse y sea recolectado con mayor facilidad por la hembra.

En cuanto al tipo de material mencionado con mayor frecuencia es la colocación de vegetación natural o de plástico que representa el 66.66% de los materiales utilizados para que se pueda llevar a cabo la reproducción de los ejemplares (Hincapie et al., 2022; Khattak et al., 2014; Mena González & Zamora, 2014;

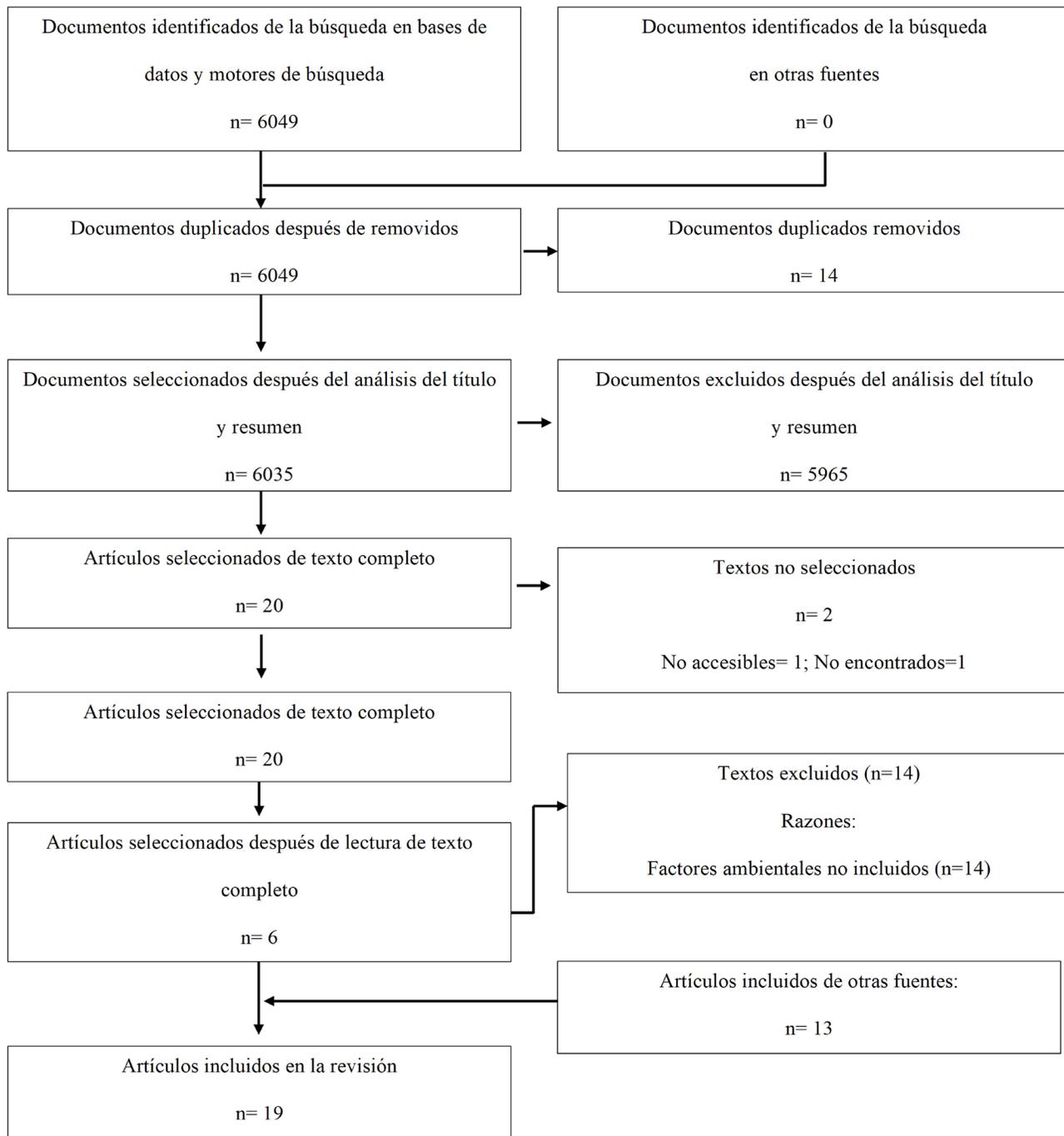


Figure 1. Flowchart scheme of the systematic review in the electronic media for the Xochimilco Axolotl (*Ambystoma mexicanum*) reproduction.

Figure 1. Diagrama de flujo de revisión sistemática en medios electrónicos sobre la reproducción del Axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*).



Ramírez Bautista et al., 2009; Ramos et al., 2021; Rosales-Peña & Ríos Vargas, 2021; Stephan Otto & Ensástigue López, 2001; Zambrano et al., 2007).

### Dimensiones

En 10 de 19 documentos que representa el 52.63% del total de documentos reportan las dimensiones del albergue como un factor ambiental para favorecer la reproducción del Axolote de Xochimilco (Clare, 2019; Estrada Romero, 2015; Farkas & Monaghan, 2015b; Fox, 1984; Gresens, 2004; Hincapie et al., 2022; Mena González & Montes de Oca, 2014; Mena González & Zamora, 2014; Rosales-Peña & Ríos Vargas, 2021; Servín Zamora, 2011). Cabe destacar, que se proponen dos tipos de dimensiones dependiendo del número de ejemplares alojados. Por ejemplo, en 9 de los 10 documentos (90%) reportan que para albergar a dos ejemplares en un solo acuario es posible utilizar 30.23 L de agua en promedio. Reportando también un máximo de 75.7 L y un mínimo de 2 L de capacidad para albergar dos ejemplares y permitir la reproducción de los ejemplares (Fox, 1984; Gresens, 2004). Mientras que para alojar entre 5-13 ejemplares es posible utilizar un acuario con una capacidad de 300 L en promedio.

### Agua

En 8 de 19 documentos que representa el 36.84%, los autores coinciden en mantener ciertos parámetros del agua y cuidados necesarios para permitir la reproducción del Axolote de

**Table 3.** Chemistry water reference values for the Xochimilco's Axolotl maintenance under professional care at Ecologic Restoration Laboratory; UNAM Biology Institute (Mena González & Zamora, 2014).

**Tabla 3.** Parámetros químicos de agua en alojamiento bajo cuidado humano del Axolote de Xochimilco en el Laboratorio de Restauración Ecológica Instituto de Biología UNAM (Mena González & Zamora, 2014).

| Parámetro                                | Valor ideal        |
|--|--------------------|
| pH                                       | 6.5-8              |
| Cloro                                    | 0 mg/L             |
| Dureza general (GH)                      | 6-16° DH           |
| Dureza carbono (KH)                      | 3-10° DH           |
| Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) | > 3 mg/L           |
| Amoniaco                                 | 0% ó 0 mg/L        |
| Densidad                                 | 1.000              |
| Concentración CO <sub>2</sub>            | <5 mg/L            |
| O <sub>2</sub> disuelto                  | >80% de saturación |
| Temperatura                              | 10-18° C           |

Xochimilco (Clare, 2019; Farkas & Monaghan, 2015; Hincapie et al., 2022; Khattak et al., 2014; Mena González & Zamora, 2014; Ramos et al., 2021; Rosales-Peña & Ríos Vargas, 2021; Servín Zamora, 2011). Entre los parámetros que los autores coinciden son la medición de pH, oxígeno disuelto en agua, salinidad del agua, conductividad, medición de nitritos, nitratos y amoniaco, el uso de filtros y los recambios parciales de agua. En la tabla 3 se muestra un cuadro de los parámetros establecidos en una colonia de axolotes.

### Fotoperiodo

En 6 de 19 documentos (31.57%) se reporta el uso del fotoperiodo como un factor ambiental para reproducir al Axolote de Xochimilco. Propiamente el permitir 12 horas luz y 12 horas oscuridad a los ejemplares a lo largo del año (Estrada Romero, 2015; Farkas & Monaghan, 2015; Fox, 1984; Khattak et al., 2014; Mena González & Montes de Oca, 2014; Servín Zamora, 2011). Sin embargo, Fox (1984) quien no describe un fotoperiodo de horas preciso, pero sí reporta que un ciclo de 24 horas luz inhibe los desoves.

### Ejemplares

En 8 de 19 documentos (42.10%) se reporta las características físicas y edad de los ejemplares necesaria para considerarse como ejemplares aptos para iniciar la etapa reproductiva (Clare, 2019; Gresens, 2004; Hincapie et al., 2022; Khattak et al., 2014; Mena González & Montes de Oca, 2014; Mena González & Zamora, 2014; Rosales-Peña & Ríos Vargas, 2021; Servín Zamora, 2011). En 7 de los 8 documentos (87.5%) destacan las características del macho en el que se debe observar un abultamiento de la zona pericloacal, mientras que en el caso de la hembra un aumento de volumen del abdomen que tiene que observarse redondeado. Mientras que la edad promedio para iniciar la etapa reproductiva es de 12 meses.

Cabe destacar que los resultados reportados, en ninguno de los documentos se refieren a un factor ambiental como el principal para permitir la reproducción del Axolote de Xochimilco. Sino que todos en su conjunto son requeridos para establecer las condiciones necesarias y desencadenar el cortejo entre los ejemplares.

### DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión sistemática es dar a conocer aquellos factores ambientales que impactan de forma positiva en la reproducción del Axolote de Xochimilco bajo cuidado humano, desde la calidad del agua hasta la forma de conformar los grupos reproductivos para favorecer la reproducción.

## Temperatura

Se reporta que el mantener un rango de temperatura del agua de 12-18°C prolongado durante todo el año, favorece que los axolotes se reproduzcan (Duhon, 1987; Fox, 1984). Mientras que en otros dos documentos se reporta que el recinto donde alojan a los ejemplares para la reproducción se mantiene en un rango de 15-18°C (Nugas & Bryant, 1996; Servín Zamora, 2011). Por lo tanto, es posible inferir que de acuerdo con las temperaturas reportadas en los documentos encontrados y lo descrito en el apartado de resultados en donde se aloja y reproduce al Axolote de Xochimilco, el parámetro ideal de la temperatura es cercano a los 18°C para mantener a los ejemplares en condiciones óptimas (Mena González & Montes de Oca, 2014).

No obstante, otra forma de utilizar la temperatura como factor ambiental en la reproducción del axolote, es que al seleccionar al pie de cría, se mantienen separados a macho y hembra en contenedores individuales a una temperatura de agua de 21°C. Posteriormente se colocan a ambos ejemplares en un mismo alojamiento produciendo una disminución de la temperatura de 21°C a 8-11°C. Esta técnica es utilizada por Mena González & Montes de Oca (2014) para desencadenar la reproducción en los axolotes, junto con la modificación de otros factores como el fotoperiodo (Estrada Romero, 2015; Farkas & Monaghan, 2015; Fox, 1984; Khattak et al., 2014; Mena González & Montes de Oca, 2014; Ramírez Bautista et al., 2009; Servín Zamora, 2011). Así como la selección de grupos reproductivos de acuerdo con las características físicas de los ejemplares (Estrada Romero, 2015; Farkas & Monaghan, 2015; Gresens, 2004; Jacinto López, 2022; Khattak et al., 2014b; Mena González & Montes de Oca, 2014; Mena González & Zamora, 2014; Servín Zamora, 2011).

Por otro lado, Khattak et al., (2014) describe que normalmente mantienen a los axolotes reproductores en un mismo alojamiento a una temperatura de 18-20°C, pero observaron que el separar a macho y hembra en alojamientos individuales dos días antes de juntarlos en un mismo alojamiento a una temperatura de 15-16°C estimulaba el apareamiento de los axolotes y favorecía el éxito reproductivo provocado por el descenso en la temperatura.

En ninguno de estos documentos existe un análisis estadístico que permita brindar un mayor grado de confianza en la evidencia en cuanto que al provocar un descenso abrupto en la temperatura del agua de los ejemplares, incite al cortejo entre macho y hembra. Pero es interesante que únicamente Khattak et al. (2014), Mena González & Montes de Oca (2014) y Clare (2019) coinciden que, al realizar esta técnica, ambos autores observaron, que fue posible provocar el cortejo de los ejemplares al provocar un cambio súbito en la temperatura. De esta forma, estos

autores midieron la efectividad de esta técnica al modificar este factor ambiental. No obstante, no reportan un dato cuantitativo como es la cantidad de huevos o espermatozoides liberados. Por lo tanto, esta evidencia permanece como una cuestión anecdótica que sería interesante constatar mediante un estudio experimental que permita conocer si provocar este descenso en la temperatura es estadísticamente significativo. Ya que lo reportado por (Duhon, 1987; Fox, 1984) en cuanto a mantener un rango de temperatura de 12-18°C durante todo el año también permitió que los axolotes se reprodujeran sin problema alguno. Por lo que provocar el descenso abrupto podría impactar o no en la reproducción de los ejemplares. Pero no se aportan datos específicos del grado de éxito a diferentes temperaturas.

## Enriquecimiento ambiental

De acuerdo con la naturaleza de la especie, la hembra suele depositar sus huevos en la vegetación de forma natural y en el caso de los machos, los espermatozoides (Stephan Otto & Ensástigue López, 2001). Por lo tanto, la colocación de plantas acuáticas, piedras lisas y hojas plásticas en las peceras facilita que la hembra pueda realizar la fecundación de sus huevos mediante la introducción del espermatozoides del macho a través de su apertura cloacal (Khattak et al., 2014; Stephan Otto & Ensástigue López, 2001). Así mismo, Zambrano et al. (2007) refiere que los axolotes necesitan de vegetación para realizar la puesta de huevos y que puede existir una preferencia por ciertas estructuras de vegetación.

Contrario a lo reportado por Gresens (2004) quien describe que los espermatozoides no se adhieren correctamente a superficies lisas y que, por lo tanto, requieren de superficies rugosas como piedras de esta textura. Por otra parte Ayala et al. (2019) realizan un estudio experimental que destaca el uso de vegetación como un factor ambiental importante para el desarrollo del Axolote de Xochimilco. De manera que es posible inferir con lo reportado en los documentos anteriores que el uso de vegetación ya sea artificial o natural, rocas, tubos de PVC, entre otros materiales. Dentro de sus finalidades, la destacada para esta investigación, sería el uso de estas estructuras para el desove y liberación del espermatozoides por parte de la hembra y macho respectivamente.

Aunque tampoco se encontró evidencia cuantitativa de la cantidad de huevos o espermatozoides liberados con la presencia de estas estructuras. Estos autores únicamente midieron el impacto por parte de este factor ambiental mediante la liberación de huevos y espermatozoides, además de la facilidad de la hembra para coleccionar el espermatozoides.

## Dimensiones

Según lo reportado por Mena González & Zamora (2014) las dimensiones mínimas para uno o dos individuos adultos son las de un acuario que deben corresponder a una pecera de 40 litros. Por otra parte, es importante destacar que, dependiendo del tamaño de la pecera, el mantenimiento de la calidad del agua deberá tener un control más estricto para evitar realizar cambios de líquido más frecuentes mayor a 15 días, para favorecer el ahorro de agua (Rosales-Peña & Ríos Vargas, 2021).

Se reporta que el diseño circular de las peceras permite un desplazamiento ideal para los axolotes, lo que favorece una disminución en el estrés de los ejemplares, siempre y cuando la densidad poblacional dentro de la pecera sea la adecuada; en peceras de 120 L que no superen la cantidad de 10 a 13 individuos alojados en el recinto (Jacinto López, 2022; Mena González & Montes de Oca, 2014). Empero, Fox (1984) y Gresens (2004) reportan que es posible el alojamiento de los axolotes en pares, hasta en grupos de cuatro individuos en peceras de 37.85L-75.7L (10-20 Galones estadounidenses) como factor que influye en la producción de huevos, la fertilización de los huevos por medio de la recolección del espermatozoido por parte de la hembra y el desove de los huevos fertilizados. Sin embargo, existe el riesgo de pérdida de las branquias a causa de mordeduras infligidas entre congéneres, al alojar un grupo de axolotes mayor a dos individuos en un solo albergue.

Comparando la información descrita por Fox (1984), Gresens (2004) y Mena González & Zamora (2014) parece ser que el parámetro estándar para alojar a los axolotes va de los 30-40 litros de capacidad para uno hasta cuatro ejemplares. No obstante, existen diversas relaciones entre cantidad de ejemplares y espacio del alojamiento reportadas por los autores en cuanto a su experiencia.

## Agua

Todos los autores coinciden en que el tratamiento adecuado del agua para proveer un ambiente saludable, es eliminar de manera total el cloro presente en ella, mediante la utilización de productos químicos anticloro o mantener el agua en aireación en recipientes o cubetas de 24-48 horas al aire libre o expuesta al sol, como tratamiento físico (Estrada Romero, 2015; Farkas & Monaghan, 2015; Gresens, 2004; Hincapie et al., 2022a; Khattak et al., 2014; Mena González & Zamora, 2014; Rosales-Peña & Ríos Vargas, 2021; Servín Zamora, 2011). Solamente un documento destaca el uso de cristales de tiosulfato sódico para la eliminación del cloro por cada 3.78 L (un galón estadounidense) de agua permitiendo que se asiente durante la noche (Duhon, 1987).

Al contrario de lo que sucede con el uso de la solución de Holtfreter's, donde sólo cuatro autores describen el uso de este compuesto en sus centros de reproducción (Duhon, 1987; Farkas & Monaghan, 2015; Nugas & Bryant, 1996; Servín Zamora, 2011). Sin embargo, no existe un reporte exacto sobre cuál de los dos medios tiene un impacto en la reproducción del axolote, pero sí en cuanto un mejor desarrollo de las crías según lo descrito por Robles Mendoza et al. (2009) quien reporta que al comparar el uso de la solución de Holtfreter's y el uso de agua de la llave sin cloro, observó un crecimiento del 40% mayor de biomasa corporal en las larvas alojadas en la primer solución en comparación con las larvas alojadas en el segundo ambiente, respectivamente.

Respecto a la utilización de sistemas de filtración, dos documentos (10.52%) destacan el uso de sistemas de filtración Milipore (Hincapie et al., 2022; Nugas & Bryant, 1996). Mientras tanto seis documentos (31.57%) coinciden en la utilización de un sistema de filtración mecánico, biológico y químico como un componente esencial del albergue de los axolotes, que permita brindar un ambiente sano con niveles de amoníaco reducidos, corrientes de agua lentas a nulas, niveles de oxigenación mayores al 80% y calidad de agua adecuada para la especie (Farkas & Monaghan, 2015; Mena González & Montes de Oca, 2014; Mena González & Zamora, 2014). Así también lo reportado por Hincapie et al. (2022) que refiere que las corrientes de agua deben ser lentas a nulas.

Por otra parte, respecto a los parámetros fisicoquímicos del agua, Estrada Romero (2015), Mena González & Zamora (2014) y Servín Zamora (2011) coinciden en que el pH debe mantenerse en un rango de 6.5-8.0. Mientras que Hincapie et al. (2022) y Khattak et al. (2014) describen un rango similar de 7.0-8.0, similar a lo reportado por Farkas & Monaghan (2015) quien utiliza un pH de 7.0-7.5. En cuanto a los nitratos se recomienda que su nivel sea de cero y que los nitritos se mantengan en niveles menores a 100 mg por cada litro de agua para tener un estado de salud óptimo de su colonia de axolotes (Khattak et al., 2014). A diferencia de lo reportado por Servín Zamora (2011) quien describe que para brindar un medio óptimo para los axolotes, se requiere mantener niveles de nitritos menores a 3 mg por cada litro de agua.

A pesar de los documentos recabados, solamente son dos los documentos que describen con mayor detalle los niveles de los otros parámetros del agua como lo son: la dureza general (GH), dureza en cuanto a carbono (KH), concentración de nitritos y nitratos, concentración de CO<sub>2</sub>, porcentaje de oxigenación y temperatura (Mena González & Zamora, 2014; Servín Zamora, 2011).

## Fotoperiodo

Todos los autores coinciden en que el proporcionar un ciclo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad es adecuado para la reproducción de los axolotes (Estrada Romero, 2015; Farkas & Monaghan, 2015; Khattak et al., 2014; Mena González & Montes de Oca, 2014; Servín Zamora, 2011).

De acuerdo con Fox (1984), también se puede acortar el ciclo de horas luz dado que estimula a los ejemplares a entrar en etapa reproductiva. Al completarse esta etapa, el alargamiento de las horas luz aumenta el número de apareamientos y desoves por parte de los axolotes. No obstante, en este reporte por parte del autor no menciona por medio de resultados cuantitativos la efectividad de este factor ambiental, únicamente destaca los efectos cualitativos mediante observación personal. Caso contrario a lo descrito por Mena González & Montes de Oca (2014) quienes reportan que una semana antes de colocar en una misma pecera a macho y hembra, el proporcionar un fotoperiodo 12 horas luz y 12 horas oscuridad constante en peceras individuales a los ejemplares, y una vez pasado este tiempo, al colocar a ambos ejemplares en un mismo alojamiento, el realizar una reducción en el fotoperiodo a 10 horas luz y el aumento a 14 horas de oscuridad ocasionará un estímulo en la pareja para iniciar la reproducción. Sin embargo, no se hace un énfasis esencial del fotoperiodo como factor ambiental principal para provocar el desove por parte de la hembra, liberación de mayor espermatozoides del macho o inicio del cortejo entre los ejemplares. Pero permite entender que se requieren de otros factores para desencadenar la reproducción del Axolote de Xochimilco. Aun así, se infiere que los acortamientos en el fotoperiodo para inducir al axolote a reproducirse se encuentra relacionado con la estacionalidad. Por ejemplo, durante los meses de primavera suele ser cuando se presenta la etapa reproductiva en los axolotes (Ramírez Bautista et al., 2009).

## Ejemplares

Los autores coinciden en que la edad de los axolotes es un factor que influye directamente en la elección de los ejemplares para ser pie de cría. Los axolotes que tengan entre un año y un año y medio de edad se consideran aptos para iniciar la etapa reproductiva que es cuando alcanzan la madurez sexual (Estrada Romero, 2015; Gresens, 2004; Jacinto López, 2022; Mena González & Montes de Oca, 2014; Mena González & Zamora, 2014). Por su parte, los machos pueden alcanzar la madurez sexual a los 10 meses de edad y hembras entre los 12-18 meses de edad (Farkas & Monaghan, 2015a), esto es similar a lo reportado por Khattak et al. (2014) que considera que las hembras están listas para aparearse a partir de los 12-15 meses de edad, mientras que los machos lo están entre los 9-12 meses de edad. De manera que,

al seleccionar a ejemplares mayores a un año y medio edad la reproducción será más exitosa (Servín Zamora, 2011).

Solamente dos documentos (10.52%) reportan la talla del ejemplar como un factor que influye en la reproducción. Estos autores recomiendan elegir al macho como reproductor cuando alcance una talla de 23 cm y la hembra una talla de 21 cm (Mena González & Montes de Oca, 2014) y que tengan un peso mínimo de 50 gramos ambos ejemplares (Servín Zamora, 2011).

Por otro lado, el mantener separado a macho y hembra por lo menos dos semanas antes de juntarlos en un mismo acuario eleva la posibilidad de que el macho reaccione con mayor vigor frente a la hembra. Esta afirmación parte de lo observado cuando se aloja un grupo de machos en un solo acuario, ya que tienden a cortejarse entre ellos y depositar sus espermatozoides como si lo hicieran con una hembra (Gresens, 2004). Por lo tanto, separar al macho en el tiempo señalado permitirá eliminar este comportamiento y se cree que podría asegurar que el macho reaccione con una mayor atracción por la hembra (Gresens, 2004). De modo similar lo realizado por Mena González & Montes de Oca (2014) quienes mantienen separados en alojamientos individuales a macho y hembra una semana antes de presentarlos en un mismo alojamiento para aumentar la intensidad de la conducta de cortejo y elevar el éxito reproductivo. Contrastando con lo reportado por Khattak et al. (2014) quien aloja de manera individual a macho y hembra dos días antes de colocarlos en un mismo albergue.

Después de realizar esta revisión, es posible concluir que no existe un factor ambiental único del cual dependa el éxito reproductivo del Axolote de Xochimilco, si no es el conjunto de ellos que hacen posible el fenómeno descrito. A pesar de las diferentes maneras de los autores de documentar la información observada sobre de los factores ambientales principales para desencadenar la reproducción, es difícil dar un grado de incertidumbre bajo, debido a que son pocos los artículos científicos que miden los parámetros de forma experimental o que miden el grado de éxito o proporcionan información cuantitativa sobre el éxito reproductivo.

Ramos et al. (2021) reportan la cantidad de ovoposiciones realizados por la hembra 48 horas después de haber alojado a macho y hembra en un espacio delimitado forma exsitu en un lago artificial. Estas ovoposiciones fueron asociadas a los parámetros fisicoquímicos del agua del lago, los cuales fueron: pH, oxígeno disuelto en agua, salinidad y temperatura, en este estudio los autores reportaron que, de las cinco parejas distribuidas a lo largo del cuerpo de agua, encontraron que a un pH mayor a 9 las

ovoposiciones eran menores en uno de los grupos en comparación con los otros grupos cuyo pH era menor a 8. Asimismo, sucedió que en este grupo observaron que la temperatura era mucho menor comparada con los otros grupos, a pesar de estar dentro del rango de temperatura que era de 18-20°C; los investigadores asocian también que un límite bajo en la temperatura puede impactar de manera negativa en la reproducción del axolote. Por ejemplo, una de las parejas sometidas a estas condiciones obtuvo cero ovoposiciones. Mientras que una de las parejas cuyo pH menor a 8 y temperaturas mayores a 18°C, pero menores a 20°C ovopositaron hasta 634 huevos. Con esto, es importante destacar que tanto el pH como la temperatura influyen en conjunto para proveer las condiciones necesarias para el desove de los huevos y por ende la fecundación de estos.

Es importante mencionar, que además de los resultados cualitativos reportados, el único resultado cuantitativo reportado en común por diversos autores es la cantidad de huevos depositados por la hembra. Por ejemplo, Mena González & Montes de Oca (2014) reporta que al proveer de la temperatura, fotoperiodo y condiciones de agua adecuados pueden recolectarse de 50 a 100 huevos. Con ello, se piensa que la ovoposición puede ser la forma más cuantificable de conocer si hay un impacto positivo de los factores ambientales. Así, que existan diversas cantidades de huevos depositados por la hembra reportados, como Mena González & Zamora (2014) quien reporta la cantidad de 100 hasta 600 huevos y Gresens (2004) quien describe la ovoposición de 100 a 400 huevos. Sin embargo, este último autor hace énfasis en las características morfológicas de los ejemplares como factor para favorecer la reproducción del Axolote de Xochimilco.

Adicionalmente, los factores reportados por los autores tienen una estrecha relación con ciertos factores observados en vida libre. Tal es el caso de la temperatura del agua y el pH donde Shaffer (1989) reporta una temperatura en vida libre para el axolote de Xochimilco de 16-20°C que es similar a los rangos reportados bajo cuidado humano. En el caso del pH, el autor reporta los rangos de 7.4-8.2 que es equiparable a los reportados por la literatura encontrada. No obstante, esto no sucede en el resto de los factores ambientales que se encuentran documentados, ya que en vida libre no se han evaluado o por lo menos no se encuentran reportados en la literatura.

De manera que, según lo observado en la revisión de los documentos, no existe un factor que actúe por sí sólo para permitir la reproducción del axolote. Son un conjunto de ellos para que el Axolote de Xochimilco pueda reproducirse bajo cuidado humano.

Por estas razones, con base en la literatura revisada, los factores ambientales reportados por los autores parecen ser los más importantes para permitir la reproducción del axolote. Cabe destacar que estos reportes están basados en la experiencia y observaciones de cada uno de los autores. Así pues, es necesario evaluar los factores restantes mediante un estudio que utilice el método científico para que mediante un análisis estadístico permita establecer con una mejor evidencia científica el uso de estos factores y así obtener un mayor grado de confianza en ello. Es importante destacar que, para el desarrollo de una mejor evidencia, siempre es necesario considerar el bienestar animal de los ejemplares involucrados en el estudio. Por consiguiente, se sugiere prescindir estudiar aquellos factores que ya han sido evaluados u observados en vida libre y que son equiparables con lo utilizado bajo cuidado humano, como son el pH y temperatura. Apegándose también dicho estudio a las cuestiones legales que competen a cada país, siendo para México el desarrollo de una investigación experimental apegada a la NOM-062-ZOO-1999 (SADER, 2001). Para así reducir el tiempo del estudio, el número de ejemplares y sobre todo el estrés al que pudieran estar sujetos los axolotes al realizar la evaluación.

## CONCLUSIONES

El Axolote de Xochimilco, de acuerdo con la literatura revisada, parece ser una especie de fácil reproducción siempre y cuando se brinden los requerimientos ambientales necesarios descritos anteriormente. Es importante mencionar, que ningún factor por sí solo logra la reproducción del axolote bajo cuidado humano. Por consiguiente, es necesario ofrecer cada uno de ellos en los rangos y características descritas en la literatura encontrada a través de esta revisión sistemática. Cabe destacar que estos resultados se encuentran basados en la experiencia de los investigadores, medidos con el éxito reproductivo reportado a partir del inicio del cortejo entre machos y hembras, los desoves, la fertilización de los huevos y el nacimiento de crías.

El éxito reproductivo está basado en hechos cualitativos y, por lo tanto, sería idóneo comprobar estos factores ambientales a través del método científico, tomando como base la experiencia reportada por los autores. Sin embargo, las mediciones de estos factores deberían evaluarse individualmente para establecer si impactan positiva o negativamente en la reproducción del axolote. No obstante, esto es algo complicado de realizar debido a que, según lo reportado, estos factores en su conjunto permiten la reproducción del *A. mexicanum*. Por lo tanto, es necesario desarrollar una propuesta sumamente detallada en cuanto a las variables que podrían impactar de forma negativa o positiva a los ejemplares.

**Agradecimientos.**– Agradecemos al Dr. Ricardo Itzcóatl Maldonado Reséndiz, al Dr. René Oswaldo Silva Castillo y a la Dra. Dulce María Brousset Hernández-Jáuregui.

**Consideraciones éticas.**– Al ser un trabajo de revisión sistemática, se aclara que no existió colecta ni manipulación de ningún ejemplar para la elaboración de este manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Miguel, X., G. Legorreta & G. Casas-Andreu, 2009. Reproducción ex situ en *Ambystoma granulosum* y *Ambystoma lermaense* (Amphibia: Ambystomatidae). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 25:443–454.
- AmphibiaWeb. 2022. Ambystomatidae. <https://amphibiaweb.org/lists/Ambystomatidae.shtml> [Consultado en noviembre 2022]
- Ayala, C., A.G. Ramos, Á. Merlo & L. Zambrano. 2019. Microhabitat selection of axolotls, *Ambystoma mexicanum*, in artificial and natural aquatic systems. *Hidrobiología* 828:11–20.
- CITES. 2022. *Ambystoma mexicanum*. <https://cites.org/esp/app/appendices.php> [Consultado en noviembre 2022]
- Clare, J.P. 2019. Axolotls. Breeding. <http://www.axolotl.org/breeding.htm> [Consultado en noviembre 2022]
- Duhon, S. 1987. The I.U. Axolotl colony's short guide to the care and feeding of axolotls. An overview of the methods used at the Indiana University Axolotl colony.
- Estrada Romero, R.M. 2015. El Ajolote *Ambystoma mexicanum*: su Manejo y Reproducción en Cautiverio. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Farkas, J.E. & J.R. Monaghan. 2015. Housing and Maintenance of *Ambystoma mexicanum*, the Mexican Axolotl. Pp. 27–43. En A. Kumar & A. Simon (Eds.) *Salamanders in Regeneration Research Methods and Protocols*. 1era edición. Humana Press. Londres, Reino Unido.
- Fox, W.F. 1984. Factors influencing axolotl spawnings at developmental biology center. University of California. C.A. Irvine. [https://ambystoma.uky.edu/genetic-stock-center/newsletters/Older\\_archive/Issues-13-23/issues13-23.php](https://ambystoma.uky.edu/genetic-stock-center/newsletters/Older_archive/Issues-13-23/issues13-23.php) [Consultado en noviembre 2022]
- Graue Wiechers, V. 1998. Estudio genético y demográfico de la población del anfibio *Ambystoma mexicanum* (Caudata: Ambystomatidae) del lago de Xochimilco. Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar (Oceanografía Biológica y Pesquera) Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Gresens, J. 2004. An Introduction to the Mexican Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *LabAnimal* 33:41-47.
- Hincapie, M., B. Carbonell-Medina, C.M. Arenas-Gómez & J.P. Delgado. 2022. *Ambystoma mexicanum*, A model organism in developmental biology and regeneration: a colombian experience. In *Acta Biológica Colombiana*, Universidad Nacional de Colombia 27:113-126.
- ITIS. 2022. *Ambystoma mexicanum*. [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=586244#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=586244#null) [Consultado en noviembre 2022]
- Jacinto López, B.V. 2022. Diagnóstico, conservación y rescate de Xochimilco con énfasis en el manejo de *Ambystoma mexicanum*. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. México.
- Khattak, S., P. Murawala, H. Andreas, V. Kappert, M. Schuez, T. Sandoval-Guzmán, K. Crawford & E. M. Tanaka. 2014. Optimized axolotl (*Ambystoma mexicanum*) husbandry, breeding, metamorphosis, transgenesis and tamoxifen-mediated recombination. *Nature Protocols* 9:529-540.
- Mena González, H., & K. Montes de Oca. 2014. Manual de procedimientos para el manejo y mantenimiento de la colonia de axolotes del Laboratorio de Restauración Ecológica. Instituto de Biología UNAM.
- Molina Vázquez, A. 2010. El ajolote de Xochimilco. *Ciencias* 98:54-59.
- Parra-Olea, G., O. Flores-Villela & C. Mendoza-Almeralla. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:460-466.
- Ramírez Bautista, A., U. Hernández Salinas, U.O. García Vázquez, A. Leyte Manrique & L. Canseco Márquez. 2009. Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y Conservación. Reproducción de Anfibios. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.



- Ramos, A.G., H. Mena-González & L. Zambrano. 2021. The potential of temporary shelters to increase survival of the endangered Mexican axolotl. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 31:1535–1542.
- Robles Mendoza, C., C.E. García Basilio & R.C. Vanegas Pérez. 2009. Maintenance media for the axolotl *Ambystoma mexicanum* juveniles (Amphibia: Caudata). *Hidrobiológica* 19:205–210.
- Rosales-Peña, M. & A.D. Ríos Vargas. 2021. Manejo y cuidados del *Ambystoma mexicanum* en el acuario del CCH-Vallejo. *Revista del Siladín del CCH. Consciencia* 5:21–36.
- SADER. 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999\\_220801.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf) [Consultado en enero 2023]
- Secretaría de Cultura. 2020. El dios perro Xólotl. <https://www.gob.mx/cultura/articulos/el-dios-perro-xolotl?idiom=es> [Consultado en enero 2023]
- SEDEMA. n.d. El Axolotl, una criatura fantástica. <http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/culturaambiental/index.php/el-axolotl-una-criatura-fantastica> [Consultado en diciembre 2022]
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 Protección ambiental-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 [https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf) [Consultado en noviembre 2022]
- Servín Zamora, E. 2011. Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina veterinaria aplicada al ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) en el zoológico de Chapultepec. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Shaffer, B.H. 1989. Natural History, Ecology, and Evolution of the Mexican “Axolotls.” *Axolotl Newsletter* 18:15-11.
- Stephan Otto, E. & J. Ensástigue López. 2001. EL ajolote, otro regalo de México al mundo. *Biodiversitas* 35:7-11.
- UICN. 2020. Axolotl *Ambystoma mexicanum*. <https://www.iucnredlist.org/es/species/1095/53947343> [Consultado en noviembre 2022]
- Zambrano, L., E. Vega, M.L.G. Herrera, E. Prado & V.H. Reynoso. 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.

