



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

**UNIDAD XOCHIMILCO**

---

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**INFORME FINAL DEL SERVICIO SOCIAL  
POR ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA PROFESIÓN**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

**“Seguimiento del desarrollo embrionario del  
ajolote *Ambystoma mexicanum* en  
condiciones controladas”**

**QUE PRESENTA EL ALUMNO  
Sandra Morales Sánchez**

**Matrícula:**

**2182043869**

**ASESORAS:**

**Dra. Gabriela Vázquez Silva (No. Eco. 30288)  
Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura, UAM- X**

**Biol. Ana Karen López De la Rosa (No. de Céd. 12194410)  
Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura, UAM- X**

**Ciudad de México**

**Septiembre, 2024.**

## RESUMEN

Las poblaciones silvestres de *Ambystoma mexicanum* se encuentran en riesgo de extinción debido a las actividades antropogénicas como la ganadería, fragmentación de su hábitat, cambio del uso de suelo, así como la introducción de especies invasoras causando el desplazamiento de especies autóctonas y endémicas de la zona. Por lo que se han realizado esfuerzos por conservar esta especie en cautiverio en diferentes instituciones, Zoológicos, UMA's, y PIMVS, así como en refugios fuera y dentro de su hábitat, como una herramienta de conservación *ex situ*, dado que su ambiente natural carece de las condiciones óptimas para su supervivencia. Al respecto, el manejo de la especie en cautiverio conlleva el registro de datos como el desarrollo, crecimiento, supervivencia y reproducción. El periodo de reproducción de esta especie se da en las temporadas más frías, pero en cautiverio puede ser modificada ya que las condiciones ambientales son controladas. La reproducción sucede después del cortejo, cuando el macho se encuentra estimulado libera el espermatozoides para que la hembra lo absorba y se fecunden los huevos, alrededor de 24 horas la hembra desova entre 300-600 huevos aproximadamente, dada la transparencia de los huevos se puede observar completamente el desarrollo embrionario desde el momento de la puesta y hasta su eclosión. Por lo que el objetivo de este trabajo constó en la descripción de las características generales del desarrollo embrionario del ajolote *Ambystoma mexicanum* en condiciones controladas, mediante la identificación de los cambios morfológicos del embrión hasta la eclosión de la larva y el registro de supervivencia de las crías obtenidas, para apoyar las actividades del proyecto de investigación "Limnobiología y aspectos acuícolas de la Zona Lacustre de Xochimilco, Ciudad de México". Para esto se seleccionaron 9 parejas que presentaran las características de maduración para reproducción, como resultado se obtuvieron dos desoves en 2 parejas, una con 400 huevecillos y la otra con 380. En la primera pareja 375 fueron viables; mientras que, en el segundo se registraron 368 huevecillos viables. El desarrollo embrionario fue igual para ambas parejas, con eclosión en el día 15. El desove de la primera pareja tuvo un 53.33% de viabilidad hasta la eclosión y la segunda pareja fue menor con un 40.8%. La supervivencia de las crías de la primera pareja hasta los 30 días fue del 53% y para la segunda pareja del 60%.

**Palabras clave:** huevo, *Ambystoma mexicanum*, reproducción, desarrollo embrionario.

---

---

## Contenido

I.	Introducción.....	3
II.	Lugar de realización .....	4
III.	Marco Institucional.....	4
IV.	Objetivo general del proyecto al que se inserta el Servicio Social.....	4
V.	Objetivo general del Servicio Social .....	5
VI.	Descripción específica de las actividades desarrolladas .....	5
	a. Alimentación de los ejemplares adultos en etapa reproductiva bajo la estimación de la tasa de alimentación .....	5
	b. Talla, peso y sexo de los ejemplares y proporción de sexos.....	7
	c. Selección de parejas para la reproducción. ....	9
	d. Variables físico-químicas del agua en tinas de reproducción y mantenimiento.....	9
	e. Registro fotográfico y descripción de cada etapa del desarrollo embrionario de <i>Ambystoma mexicanum</i> en condiciones de cautiverio. ....	10
	f. Periodo de incubación de los huevos de <i>Ambystoma mexicanum</i> . ....	11
	g. Viabilidad de los huevos de <i>Ambystoma mexicanum</i> en condiciones de cautiverio. ...	11
	h. Seguimiento del desarrollo embrionario de <i>Ambystoma mexicanum</i> en condiciones de cautiverio.....	12
	i. Supervivencia de larvas de <i>Ambystoma mexicanum</i> después de su eclosión hasta el mes de edad.....	16
VII.	Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios .....	19
VIII.	Referencias .....	21
IX.	Anexos.....	23
X.	Visto Bueno.....	25

## I. Introducción

La Zona Lacustre de Xochimilco es un ecosistema acuático embebido en la Ciudad de México, el cual alberga una gran diversidad biológica y endemismos de peces por las regiones biogeográficas en la que se encuentra, constituye un ecosistema lacustre remanente de la Cuenca de México formado por planicies inundadas naturales y cuerpos de agua inducidos, asimismo es un área natural de descarga del flujo subterráneo teniendo gran importancia en términos de la biodiversidad tanto para la flora y fauna acuática como la terrestre. Dentro de la fauna representativa de la zona se ubica al ajolote mexicano, quien es considerada una especie en riesgo y de distribución muy restringida (Parra-Olea *et al.*, 2014). *Ambystoma mexicanum* es un anfibio de la Clase Amphibia, Orden Urodela, perteneciente a la Familia Ambystomatidae, su nombre proviene del griego *stoma*, hocico y *amblys*, agudo, misma que agrupa a las salamandras (Molina, 2010). El ajolote es utilizado como modelo biológico en la investigación, por la regeneración de órganos y tejidos y también porque su reproducción es relativamente sencilla en comparación con otras especies, además de su tamaño y la facilidad en la manipulación de sus embriones, que permite observar el desarrollo completo del ciclo de vida desde el huevo. Otra característica de este anfibio es que desarrolla rápidamente sus extremidades, sus branquias son ramificadas y visibles en todo momento en ambos lados de la cabeza (Mena y Servín, 2014).

La situación actual *A. mexicanum* es preocupante debido a que sus poblaciones han disminuido drásticamente en las últimas décadas, por lo cual se considera como una especie en peligro de extinción de acuerdo con la Norma Ecológica NOM-059 (SEMARNAT, 2015), a nivel internacional se encuentra en el libro rojo de especies amenazadas (IUCN). Aunque la Zona Lacustre de Xochimilco se encuentra incluida como un ecosistema de humedal de importancia internacional por RAMSAR y como patrimonio natural, esta especie se encuentra en un área considerada entre las más densamente pobladas del mundo, por lo cual este anfibio pasa por una grave crisis desde hace décadas, aunado a las intensas actividades humanas que han perturbado el hábitat de los ajolotes a causa tales como la urbanización, contaminación del agua por uso de detergentes y fertilizantes, acumulación de basura y descarga de aguas residuales, la sedimentación y la introducción de especies exóticas a los cuerpos de agua como son la carpa y tilapia, finalmente se suma otro factor que es la captura clandestina que ejerce presión en sus poblaciones (Mena y Servín, 2014).

Ante esta problemática se han realizado esfuerzos para rehabilitar el medio y a la par se han manejado colonias de ajolote en cautiverio para su crianza y posible repoblamiento. El mantenimiento en cautiverio del ajolote es un

instrumento de conservación *ex situ* en tanto no existan las condiciones idóneas en su hábitat, la cual consiste en proveer alojamiento con características similares a las que se presentan en su hábitat natural, esta condición promueve un desarrollo y estado de salud adecuados, que se verán reflejados en el bienestar del organismo. El estudio sobre la reproducción y desarrollo embrionario en condiciones controladas del cautiverio son importantes García y Aguilar (2023) para establecer un buen manejo de los organismos y acrecentar sus colonias. Por eso el objetivo del presente protocolo de servicio social es describir las características generales del desarrollo embrionario del ajolote *Ambystoma* sp en condiciones de cautiverio, mediante la observación e identificación de cambios morfológicos hasta su eclosión.

## **II. Lugar de realización**

El servicio social por actividades relacionadas con la profesión se desarrollará en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura, que se encuentra ubicado en el Edificio W Planta Baja, de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, ubicada en Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán.

## **III. Marco Institucional**

La Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco tiene como objetivo la contribución al conocimiento para el servicio y el desarrollo social con el fin de construir una sociedad responsable ante el medio ambiente, justa y equitativa, mediante la formación de científicos con habilidades, competencias y conocimientos que les permitan participar en el diagnóstico, gestión y planeación del uso, así mismo en la conservación y restauración de los recursos naturales. Por lo tanto la investigación del laboratorio de Limnobiología y Acuícola se centra en la Zona Lacustre de Xochimilco, Ciudad de México, hacia el manejo de fauna silvestre endémica del país con especial atención en las especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo a nivel nacional e internacional, por lo que el servicio social incluye actividades relacionadas con la alimentación, reproducción y mantenimiento de colonias de *Ambystoma mexicanum*, con la finalidad de adquirir conocimientos y experiencia en la conservación *ex situ* de las especies nativas de la Zona Lacustre de Xochimilco.

## **IV. Objetivo general del proyecto al que se inserta el Servicio Social**

Caracterizar los cuerpos de agua de la Zona Lacustre de Xochimilco (ZLX) para el aprovechamiento, manejo y preservación de los recursos acuáticos y conservación del medio de acuerdo con la situación que guardan las especies de

interés ecológico y socioeconómico de la ZLX, principalmente *Ambystoma mexicanum*, *Cambarellus montezumae*, *Chirostoma jordani*, *Girardinichthys viviparus* y otros.

## **V. Objetivo general del Servicio Social**

Describir las características generales del desarrollo embrionario del ajolote *Ambystoma mexicanum* en condiciones de cautiverio, mediante la identificación de los cambios morfológicos del embrión hasta la eclosión de la larva y el registro de supervivencia de las crías obtenidas, para apoyar las actividades del proyecto de investigación “Limnobiología y aspectos acuícolas de la Zona Lacustre de Xochimilco, Ciudad de México”.

## **VI. Descripción específica de las actividades desarrolladas**

Las actividades que se llevaron a cabo en el proyecto estuvieron primordialmente enfocadas a la reproducción; sin embargo, para la obtención de puestas fue necesario ofrecer alimentación y mantenimiento a las colonias de *Ambystoma mexicanum*, como se menciona a continuación.

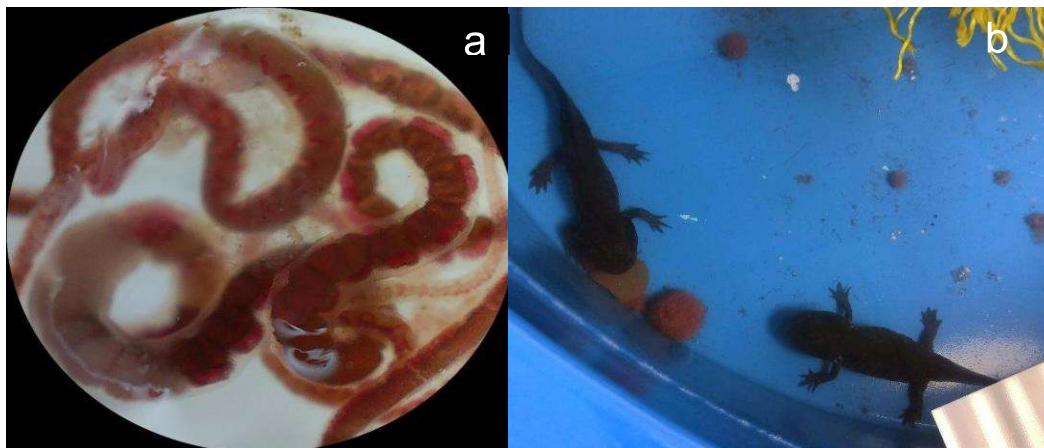
### **a. Alimentación de los ejemplares adultos en etapa reproductiva bajo la estimación de la tasa de alimentación**

Se realizó el manejo del alimento vivo *Tubifex* sp. el cual fue lavado constantemente con agua corriente y se mantuvo en aireación para mantenerlo en buen estado. Los organismos fueron alimentados tres veces por semana y la tasa de alimentación que se manejó fue del 4% de acuerdo con la biomasa de cada unidad reproductiva y se ajustó cada 15 días (**Figura 1**).



**Figura 1.** Registro del peso del gusano *Tubifex sp.*, para la alimentación de los ajolotes.

La dieta de los reproductores consistió en alimento vivo *Tubifex sp.*, a este se le conoce comúnmente como gusano de fango, estos son pequeños gusanos acuáticos de forma cilíndrica que presentan una tonalidad roja como se observa en la **Figura 3 a)**, se encuentran principalmente en el sedimento de lagos, ríos o estanques, su principal aprovechamiento es de alimento para otros organismos acuáticos en este caso para *Ambystoma mexicanum* ya que contiene un gran aporte de nutrientes y proteínas, además de que ayudan en su crecimiento y desarrollo. En la **Figura 3 b)** se muestra otro beneficio de este alimento ya que ayuda en el factor conductual de esta especie, manteniendo su instinto depredador como en vida silvestre.

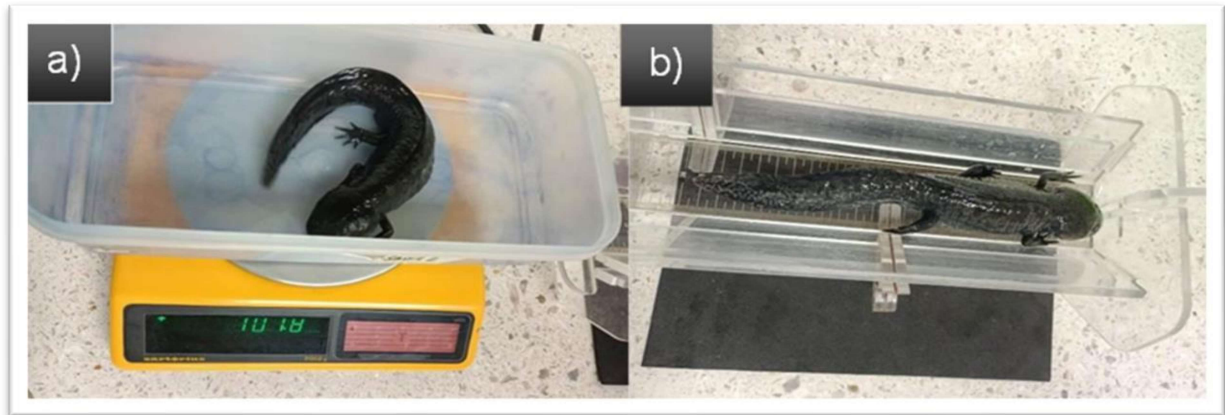


**Figura 3.** a) *Tubifex spp* visto desde microscopio óptico 15X, b) Pareja alimentándose de *Tubifex spp.* Fotos tomadas en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura UAM-X.

## b. Talla, peso y sexo de los ejemplares y proporción de sexos

De cada uno de los organismo de la colonia, así como de las parejas formadas para la reproducción se llevó a cabo el registro del peso (g) cada quince días con una balanza (SARTORIUS®), así mismo se registró la talla que comprende longitud total que abarca de la punta de la cabeza al final de la cola y longitud hocico-cloaca que va de la punta de la cabeza a la cloaca con ayuda de un Ambystometro (diseñado por Ángel Raúl Galindo Ruiz) (**Figura 2**).

Así mismo se llevó a cabo el sexado de los ejemplares que se encontraron en cada unidad de reproducción para tener el número exacto de hembras y machos pertenecientes a las colonias mantenidas en el laboratorio para su posterior selección y reproducción.



**Figura 2.** a) Registro de peso y talla en reproductores de *Ambystoma mexicanum*, b) medición de la Longitud total y Longitud Hocico Cloaca de *Ambystoma mexicanum*. Fotos tomadas en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura UAM-X.

Se llevo acabó el registro de talla y peso a 89 ejemplares, de los cuales 57 fueron hembras y 32 machos, lo que represento el 64 %de machos y 35% de hembras de los organismos sexados. En el **cuadro 1** se muestra el peso y talla inicial y final de cada pareja, se puede observar que todas las parejas ganaron peso a excepción de la pareja número 7 tanto la hembra como el macho bajaron de peso. Esta reducción del peso se pudo deber a que entraron en estrés al momento del manejo, también en el cuadro se puede observar que la talla en todos los ejemplares se mantuvo igual ya que todos los ejemplares se encontraban en edad adulta.





### c. Selección de parejas para la reproducción.

Para la reproducción se llevó a cabo la selección de las parejas de acuerdo con su madurez sexual y posteriormente se acondicionaron tinas para cada pareja y a cada una se les colocó casuarina la cual sirvió como sustrato para la fijación de los desoves. Así mismo se bajó la temperatura aproximadamente a 18°C en cada tina para estimular la reproducción de forma natural. Para la identificación de los organismos fue importante conocer la diferencia entre un macho y una hembra (**Figura 4**) para poder realizar la selección de parejas para su reproducción, también se consideró que los ajolotes ya presentaran las características sexuales que corresponde a un macho y una hembra, en el caso de los machos presenta hiperplasia en la zona cloacal en comparación con la hembra y la hembra se caracteriza principalmente por el ensanchamiento del abdomen, también se consideró que se encontraran en edad reproductiva, donde los autores mencionan que a la edad de un año un ajolote entra en la etapa adulta. En total se montaron nueve parejas como lo muestra el **cuadro 1**, por cada tina una pareja. En cada tina se colocó un sustrato y aireación constante, todos los días cada pareja fue monitoreada.



**Figura 4.** Parejas seleccionadas de *Ambystoma mexicanum* colocadas en su unidad reproductora. Fotos tomadas en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura UAM-X.

### d. Variables físico-químicas del agua en tinas de reproducción y mantenimiento

Para mantener una buena calidad del agua en cada unidad reproductiva se realizaron dos recambios parciales del 50% de agua por semana y un recambio total, que consistió en retirar los restos de alimento y heces con una manguera para evitar la concentración de desechos de los organismos y evitar enfermedades con una manguera, posteriormente las unidades se llenaron con agua libre de cloro y se mantuvieron con aireación constante. Cada tina se

monitoreo diariamente, para determinar la supervivencia de las colonias. Los parámetros fisicoquímicos fueron registrados cada 15 días con el fin de mantener las condiciones óptimas del agua, es importante conocer la calidad del agua ya que si se encuentra en mal estado se verá comprometida la salud de los organismos, los parámetros que se evaluaron fueron nitritos ( $\text{NO}_3$ ), nitrato ( $\text{NO}_2$ ), amonio ( $\text{NH}_4$ ), pH y temperatura, utilizando un kit de colorimetría HAGEN, (**Figura 5**). Los valores promedios de los parámetros fisicoquímicos registrados fueron los siguientes pH 7.6, Temperatura  $18^\circ\text{C}$ , nitritos 0.5 mg/L, nitratos 9.4 mg/L, amonio 0.1mg/L. Los parámetros fisicoquímicos reportados en el trabajo de Vázquez *et al* (2019) son similares a los que se obtuvieron en este trabajo.



**Figura 5.** Muestras de agua de cada unidad reproductora para el análisis de los parámetros fisicoquímicos. Fotos tomadas en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura UAM-X.

#### **e. Registro fotográfico y descripción de cada etapa del desarrollo embrionario de *Ambystoma mexicanum* en condiciones de cautiverio.**

- Cada pareja formada se monitoreo diariamente para observar la presencia del espermatóforo y de algún desove. Una vez identificada la presencia de huevos se prosiguió a contar el número de huevos por cada pareja.
- Se seleccionaron los huevos de acuerdo con la etapa de desarrollo en la que se encontraron y se llevó a cabo el registro fotográfico diariamente de cada una de las etapas, para esto se utilizara un estereoscopio VELAB (VE-S1), el seguimiento de las etapas se llevó con lo reportado por Schreckenber y Jacobson (1975) y Bordzilovskaya y Dettlaff (1991).

### f. Periodo de incubación de los huevos de *Ambystoma mexicanum*.

Para esta parte una vez observado un desove estos fueron retirados y colocados en tinas transparentes con agua libre de cloro y aireación constante para su incubación, aunado a esto se anotó la fecha de puesta del desove y contando los días que se requieran hasta el momento de eclosión de las crías.

### g. Viabilidad de los huevos de *Ambystoma mexicanum* en condiciones de cautiverio.

La viabilidad de los desoves que se obtuvieron se realizó observando cada huevo con ayuda de un microscopio estereoscopio (VELAB, VE-S1; New Jersey, E.U.A.) para determinar si presentaron fecundación y se determinó el porcentaje total de huevos viables. Se observó que en las parejas 3, 4, 6 y 9 hubo presencia de espermátforo (**Cuadro 2**). La pareja que tuvo una mayor cantidad fue la pareja 3 con un total de 910 huevos, seguido de la pareja 6 con 430 posteriormente la pareja 4 con 400 y por último la 9 con 380, sin embargo, no todos los huevos fueron viables (**Anexo A**), a pesar de que la pareja 3 y 6 tuvieron una mayor cantidad ninguno de sus huevos fueron viables, la pareja que tuvo la mayor cantidad de huevos viables fue la pareja 4 con un total de 375 con viabilidad de 93.75% y la pareja 9 con 368 viabilidad de 96.84%.

**Cuadro 2.** Variables reproductivas de las parejas de ajolote *Ambystoma mexicanum*.

Variables reproductivas	Parejas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Presencia de espermátforo	-	-	+	+	-	+	-	-	+
Presencia de desove	-	-	+	+	-	+	-	-	+
Número de desove	0	0	1	1	-	1	-	-	1
Número de huevos por	0	0	910	400	0	430	0	0	380
Viabilidad de huevos	-	-	-	375	-	-	-	-	368
% de viabilidad	-	-	-	93.75	-	-	-	-	96.8
Período de incubación (días)	-	-	-	15	-	-	-	-	15
% de eclosión	-	-	-	53.33	-	-	-	-	40.8

(-) Ausencia de la variable, (+) Presencia de la variable

El periodo de incubación para los huevos fue de 15 días para ambas parejas hasta llegar a la eclosión sin embargo no todos los huevos llegaron a la etapa de eclosión en la pareja 4 su eclosión fue de 53.33% y la pareja 9 de 40.76%. Mientras que en las parejas 1, 2, ,5 ,7 y 8 no hubo presencia de espermátforo y por lo tanto no se presentó reproducción. En la **Figura 6 a)** se puede observar el espermátforo, el espermátforo es producido por los machos después de realizar el cortejo hacia las hembras y al estar estimulado, está compuesto por una masa gelatinosa que rodea los espermatozoides, posteriormente la hembra recoge el espermátforo para fertilizar los huevos y desovar como muestra la **Figura 6 b)** en estas mismas parejas se presentó el desove, en la **Figura 6 c)** se observa el desove obtenido de la pareja reproductora.



**Figura 6.** a) Espermátforo depositado en el sustrato un macho, b) Desove de una pareja, c) Desove separado de la pareja reproductora. Fotos tomadas en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura UAM-X.

#### **h. Seguimiento del desarrollo embrionario de *Ambystoma mexicanum* en condiciones de cautiverio**

Para el seguimiento del desarrollo embrionario los desoves de cada pareja fueron separados con un identificador para no confundir los huevos que corresponden a cada pareja, como se muestra en la **Figura 6 c)**, hay algunas etapas que no se pudieron observar y registrarse fotográficamente, pero fueron consultadas bibliográficamente según Schreckenber y Jacobson (1975), como los casos de las etapas 2, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 23, 24,25, 26, 27, 28, 36) (**Anexo B y C**). En la reproducción de *A. mexicanum* se observó que el huevo fertilizado es depositado sobre una masa gelatinosa que le brinda protección, iniciando la etapa 1 del desarrollo embrionario que se caracteriza por la aparición del surco en la hendidura del polo en el organismo (**Figura 7 a**). Posteriormente sucede la división celular o clivaje, que parte de dos células, en la etapa 2 se empieza a formar la división de polo a polo a través del huevo para pasar posteriormente con la formación de la segunda división que corresponde a la

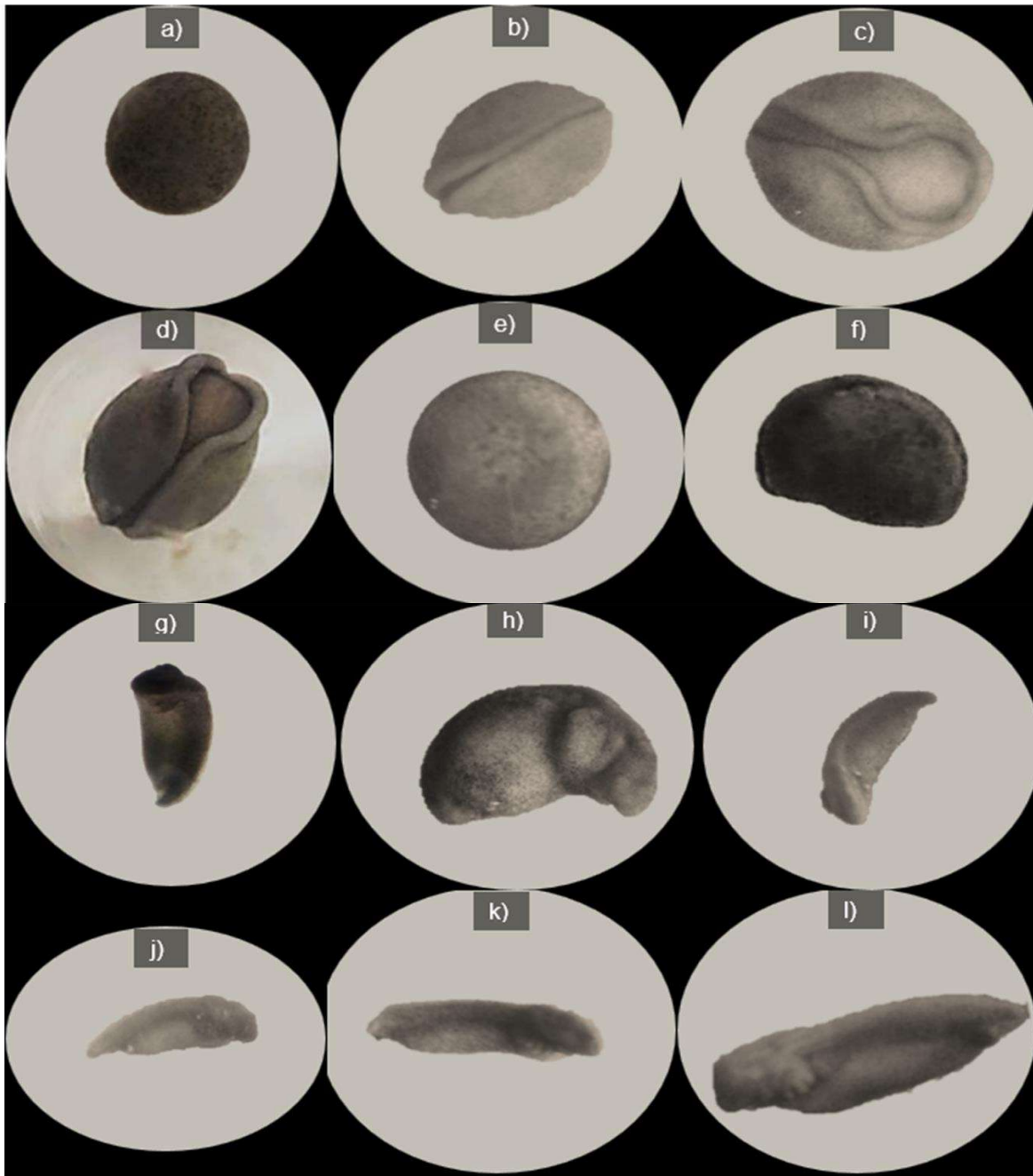
etapa 3, en la etapa 4 inicia la formación de la tercera segmentación holoblástica que abarca todo el ecuador, en la etapa 5 continúa la segmentación y se puede observar el hemisferio animal a la mitad de tamaño, seguido de la etapa 6 continua la división celular en el hemisferio animal para pasar a la etapa 7 donde terminan las divisiones celulares y empieza el proceso de blastulación. **(Figura 7 b)** en la etapa 8 se da la formación de la blástula temprana que sucede cuando se forma la caída del índice mitótico y se forman los blastómeros, estos son células indiferenciadas que se producen tras las primeras divisiones del huevo cuando este ha sido fecundado.

La etapa 9 inicia con la formación de la blástula tardía que sucede con la ordenación de los blastómeros que se formaron en la etapa 8, de la etapa 10-12 es la formación de la gástrula tardía I, II, III con la invaginación temprana y la formación del labio dorsal se empieza a formar un semicírculo, el blastoporo empieza a tomar una forma ovalada hasta formarse una hendidura, posteriormente sigue la Néurula temprana I, II, III en la etapa 13, 14 y 15, este es el proceso por el cual se dará inicio a la formación del tubo neural del embrión que constituye la estructura precursora que dará paso finalmente al sistema nervioso central, el embrión se encuentra ligeramente aplanado.

Seguido de la etapa 16 **(Figura 7 c)** con la Néurula media donde la región de la placa neural del embrión se hace más estrecha y se hunde, mientras que los pliegues neurales se hacen más altos, la Néurula tardía I se caracteriza porque los pliegues neurales son más altos específicamente en los que se encuentran en la zona de la cabeza, el embrión se sigue estrechando más y se empiezan a observar dos pares de somitas etapa 17 **(Figura 7 d)** las somitas son el engrosamiento del mesodermo en el embrión y se forman en pares una a cada lado de la notocorda ya que la notocorda es la estructura flexible que le dará el soporte al embrión, en la **Figura 7 e)** que es la etapa 18 se puede observar la Néurula tardía II con la placa neural del embrión totalmente hundida, los pliegues neurales del embrión se encuentran en la zona de la cabeza donde aparecen tres protuberancias para dar paso a la Néurula tardía III **Figura 7 f)**, en la etapa 19 sigue el engrosamiento del mesodermos constituyendo tres pares de somitas y se puede observar más curvatura en la zona del cerebro, en las etapas 20 y 21 los pliegues neurales del embrión se fusionan completamente en la región espinal y aparecen cuatro pares de somitas, también el arco mandibular se hace más prominente, los pronefros se hacen más visibles y aumentan su tamaño. Posteriormente inicia la etapa 22 **(Figura 7 g)) observándose la formación del embrión**, la zona de los pronefros es más visible y la región branquial se empieza alargar **(Figura 7 h)** los pronefros son el riñón más primitivo que presentan los peces y anfibios, también la aparición de seis pares de somitas y la cara ventral

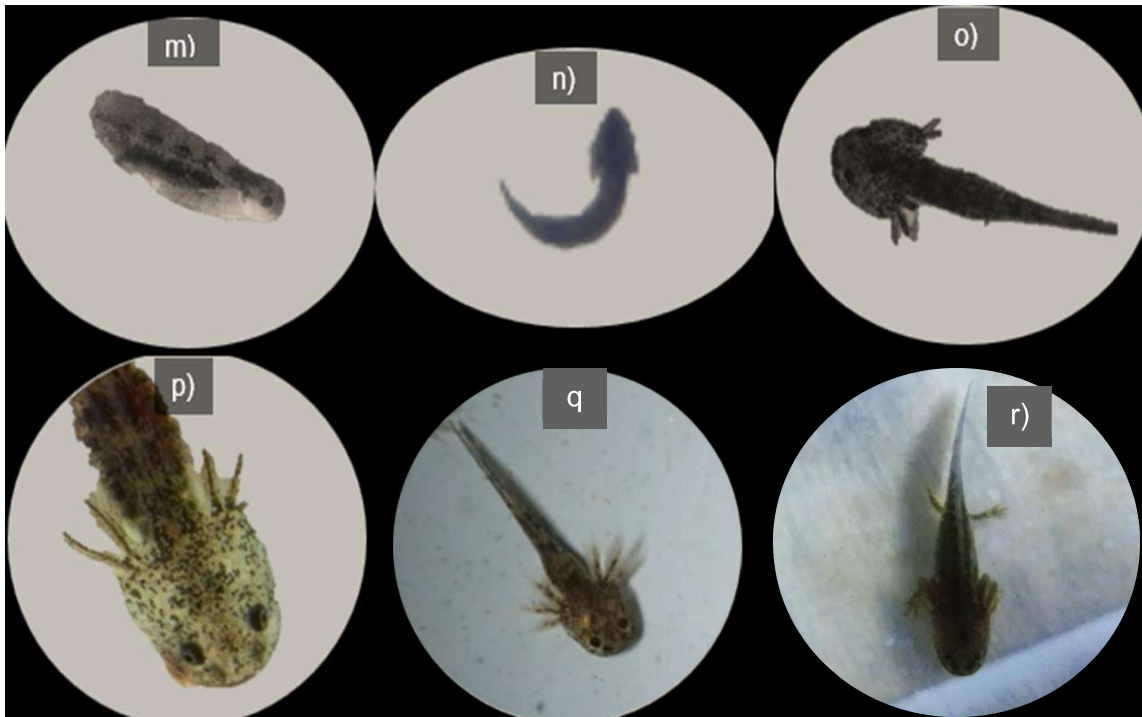


el embrión forma una curva más hundida, hasta que es la etapa 26 (**Figura 7 i**) en donde el surco branquial ya está alargado y aumenta su tamaño, el cuerpo del embrión se alarga y la cabeza forma una curva hacia abajo.



**Figura 7.** Etapas del Desarrollo embrionario de *Ambystoma mexicanum* con estereoscopio. **a)** Etapa 1 Huevo fecundado, **b)** Etapa 8 Polo animal y vegetal, **c)** Etapa 16 Néurula media, **d)** Etapa 17 Engrosamiento del mesodermo, **e)** Etapa 18 Néurula tardía II **f)** Etapa 19 Néurula tardía III. **g)** Etapa 22 Aumento de la región branquial **h)** Etapa 23 Pronefros, **i)** Etapa 26 Alargamiento del cuerpo del embrión, **j)** Etapa 29 A parición de la aleta dorsal, **k)** Etapa 30 Desarrollo de la aleta dorsal **l)** Etapa 31 Aparición de los nódulos.

Después en la etapa 29 (**Figura 7 j**) es donde el cuerpo del embrión se empieza a enderezar y solo se hace visible la curva de la cabeza, pero se endereza ligeramente y se forman 16 pares de somitas. En la **Figura 7 k**) se observa que el embrión continúa alargándose y desde la somita 14 aparece el primer pliegue de la aleta dorsal esto en la etapa 30 (**Figura 7 l**). En las etapas 33, 34 aumentan los pares de somitas y continúa el desarrollo de la aleta dorsal a partir de la somita 8. **Figura 8 m**). Para finalizar con la etapa 35 donde el embrión ya se encuentra totalmente recto y aumentan los pares de somitas, las branquias se empiezan a notar como nódulos en la zona de la cabeza que dará paso a las branquias en la etapa (**Figura 8 n**). En la etapa 38 que constituyen con la aparición de las branquias como pequeños brotes, es visible dos pares de tres constituidos década por lado de la cabeza del embrión y empieza la pulsación del corazón.



**Figura 8.** Etapas del Desarrollo embrionario de *Ambystoma mexicanum* con estereoscopio. **m)** Etapa 33 Crecimiento de las branquias, **n)** Etapa 35 Alargamiento de las branquias, **o)** Etapa 38 Aumento de los filamentos de las branquias, **p)** Etapa 39 continúa el aumento de las branquias y filamentos, **q)** Etapa 40 Ruptura de la boca, listo para eclosionar. **r)** Larva completa. Fotos tomadas en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura UAM-X.

En la **figura 8 o)** se muestra la etapa 38 con el aumento de las branquias y empiezan a formarse pequeños brotes filamentosos alrededor la primera, segunda y tercera branquia para dar paso a la etapa 39 con el alargamiento de



las branquias y el aumento de los brotes filamentosos, también se empiezan a formar las líneas que constituyen la boca del embrión (**Figura 8 p**).

En esta última etapa 40 el embrión se prepara para la eclosión sus branquias siguen alargándose y aumenta el número en los filamentos, la boca ya se puede percibir, las branquias se alargan hasta las extremidades anteriores del embrión, finalmente el embrión ya se encuentra formado y ocurre la ruptura de la boca, cuando eclosione ya pueda alimentarse por su cuenta (**Figura 8 q**)

En el seguimiento del desarrollo embrionario, se observó un periodo de incubación de 15 días hasta su eclosión. Este periodo reportado en *A. mexicanum* es similar a los datos registrados en el trabajo de Rivera (2015) con la misma especie, entre 15 a 17 días hasta la eclosión. Hervas *et al.* (2015) menciona que el periodo de desarrollo embrionario va a depender del tamaño de los huevos y en las condiciones que se encuentre, es decir si son más grandes y se encuentran fuera del agua tardaran más en eclosionar. Como lo menciona Rivera (2015) y lo observado en este trabajo, los huevos de *A. mexicanum* son más pequeños con un tamaño aproximado de 2 mm y se desarrollan completamente en el agua.

Posterior a la eclosión, las crías fueron alimentadas con rotíferos y cladóceros hasta que cumplieron el mes de edad donde su dieta fue cambiada a *Tubifex sp.*, De igual forma llevó el crecimiento y supervivencia de las larvas durante un mes posterior a la eclosión.

#### **i. Supervivencia de larvas de *Ambystoma mexicanum* después de su eclosión hasta el mes de edad.**

Una vez completado el desarrollo embrionario y con crías recién eclosionadas se ofreció la dieta que requerían de acuerdo con la etapa de desarrollo como rotíferos y cladóceros, hasta alcanzar el mes de edad, donde se les cambió la dieta a *Tubifex sp.* Así mismo se les dio el respectivo mantenimiento en cuanto a recambios de agua para mantener en buenas condiciones a los organismos y se registró el peso y talla de cada uno. Para determinar el porcentaje de supervivencia de los ajolotes se llevó a cabo el conteo del número de crías nacidas y diariamente se llevó el registro de los organismos que sobrevivan hasta cumplir el mes de nacidos utilizando la siguiente fórmula de Arce y Luna (2003):

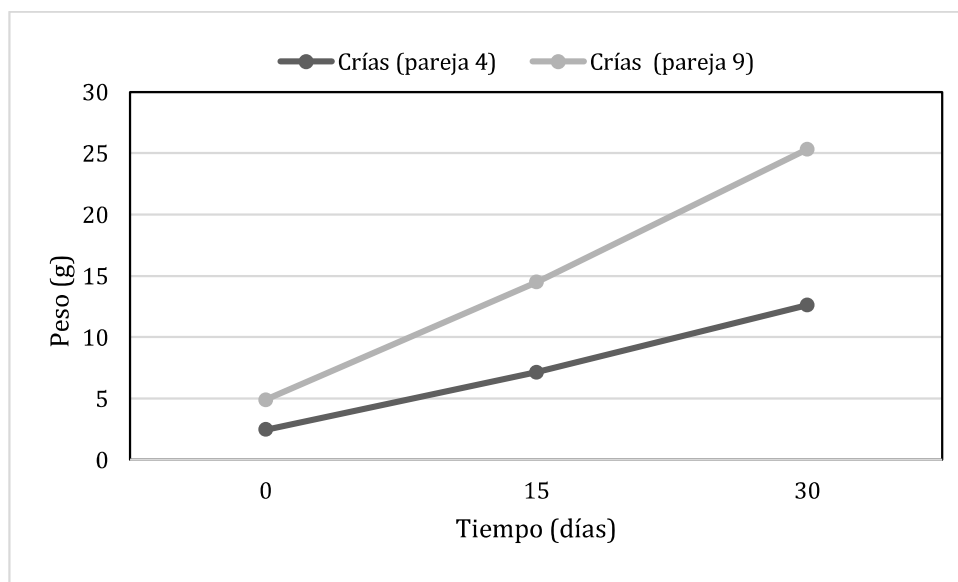
$$\text{Supervivencia: } \% S = \frac{N^{\circ} \text{ Final de organismos}}{N^{\circ} \text{ Inicial de organismos}} * 100$$

Como se muestra en el **cuadro 2**, de la pareja 4 sólo eclosionaron 180 crías y de la pareja 9 solo 145, a partir de ese momento se dio seguimiento a la supervivencia de las crías por cada pareja hasta que cumplieran el mes de edad, se estimó que el 53 % de viabilidad para la pareja 4 y 40% para la pareja 9, se puede considerar que a mayor cantidad de huevos hay una mayor posibilidad de sobrevivencia en las crías (**Cuadro 3**).

**Cuadro 3.** Supervivencia de crías de *Ambystoma mexicanum* al cumplir el mes de edad.

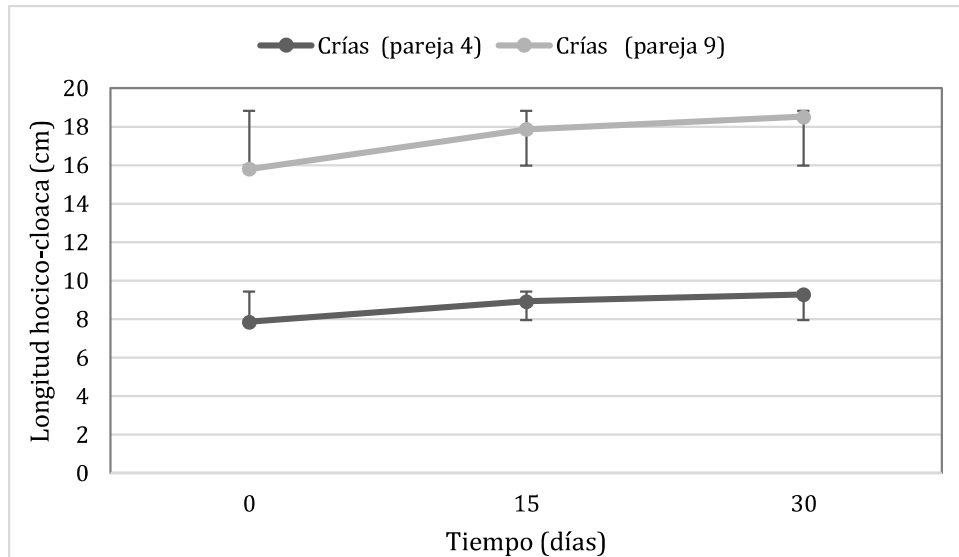
Variables	Parejas	
	P4	P9
	<b>Inicial</b>	
Número de crías	180	145
	<b>Final</b>	
Número de crías	96	87
Sobrevivencia (%)	53.3	60

En la **Figura 9** se puede observar un aumento en el peso de todas crías durante las primeras dos quincenas, en el caso de las crías de la pareja 9 obtuvieron una ganancia de peso mayor a comparación de las crías de la pareja 4 también considerando que el porcentaje de sobrevivencia fue mayor y las crías eran de mayor tamaño.



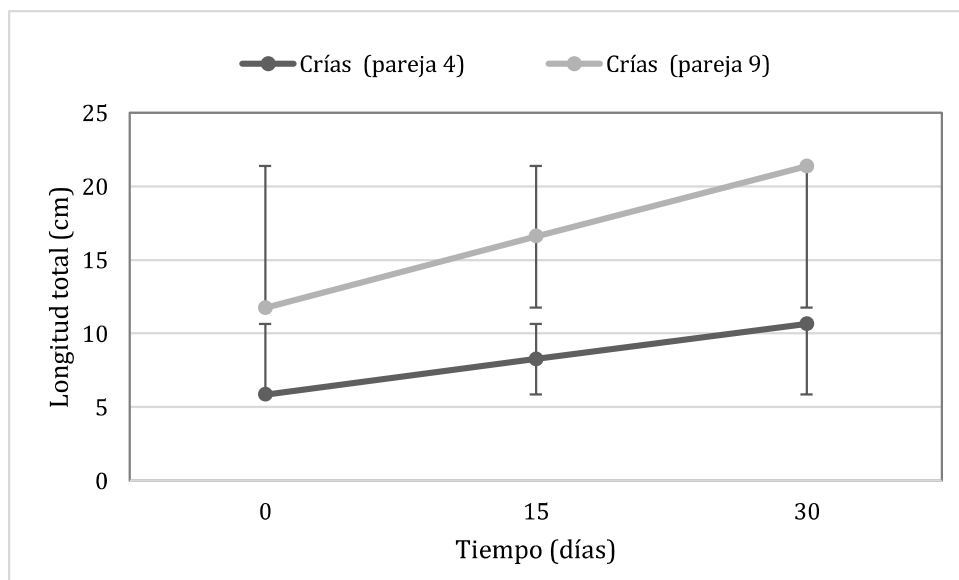
**Figura 9.** Promedio del Peso de las crías en ambas parejas reproductoras de *Ambystoma mexicanum* mantenidas en cautiverio.

En cuanto a la LC (**Figura 10**) se puede observar un aumento constante para todas las crías en la primera quincena, este incremento se mantuvo al finalizar el mes.



**Figura 10.** Promedio de la Longitud Hocico-Cloaca de crías de las parejas reproductoras de *Ambystoma mexicanum* mantenidas en cautiverio.

Como se muestra en la **Figura 11** en el caso de la LT las crías tuvieron un crecimiento constante en ambas parejas durante el primer mes de eclosión, las crías de la pareja 9 presentaron una talla mayor que las crías de la pareja 4.



**Figura 11.** Promedio de la Longitud Total de crías de los reproductores de *Ambystoma mexicanum* mantenidos en cautiverio.

## VII. Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios

México es considerado como uno de los países más ricos en flora y fauna silvestre y su diversidad en herpetofauna constituye uno de los elementos más importantes de la fauna en el país (Roosevelt *et al.*, 2013), con aproximadamente 376 especies, ocupando el quinto lugar entre los países con mayor biodiversidad de anfibios (Frost, 2013; Parra-Olea *et al.*, 2014). Dentro de la herpetofauna mexicana podemos encontrar a los anfibios, los cuales constituyen un grupo de vertebrados con una gran diversidad, actualmente, se considera que del 43% de estas especies 45 están amenazadas o críticamente amenazadas (Parra-Olea *et al.*, 2014). Los anfibios cuentan con tres Ordenes: Anura (ranas y sapos), Caudata (salamandras y tritones) y Gymnophiona (cecilias). Entre los caudados, el grupo de las salamandras tiene un alto grado de endemismo, sobre todo en las Familias Plethodontidae y Ambystomatidae (Flores-Villela, 1993). De manera general los anfibios se distinguen por presentar características comunes en morfología externa como piel lisa y sin protección de escamas, glándulas mucosas que humectan la piel o que secretan toxinas que funcionan como mecanismo de defensa, ovoposición, carecen de membranas extraembrionarias, dependencia de ambientes húmedos. En México los caudados incluyen organismos acuáticos como las larvas neoténicas, el género más representativo es *Ambystoma*, que habita tanto en ríos, lagos, corrientes de montaña y charcas, presentando cuerpos robustos y largos que alcanzan una longitud hocico-cloaca de hasta 34 cm, con una cola comprimida lateralmente (Parra-Olea *et al.*, 2014).

Las poblaciones de *Ambystoma mexicanum* se ha visto reducidas a unos cuantos individuos por metro cuadrado como resultado de una serie de presiones antropogénicas, entre las que se encuentran, el cambio de uso de suelo, fragmentación de hábitat y ecosistemas, especies invasoras, sobreexplotación y contaminación, (SEMARNAT, 2015) estos hechos hoy en día llevan a una problemática de pérdida y disminución en general de especies endémicas, por tanto es de gran importancia el mantenimiento de las especies en cautiverio con el fin de alcanzar un tamaño de población suficientemente grande que permita, mediante proyectos de reintroducción o conservación, su restablecimiento en el medio natural. De acuerdo con la Ley General de Vida Silvestre (LGVS), se reconoce a las especies y poblaciones en riesgo a aquellas identificadas por la SEMARNAT como pertenecientes a alguna de las categorías de riesgo dentro de la lista publicada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en las cuales se enlistan 15 especies endémicas del género *Ambystoma*, de las cuales 3 de ellas se encuentran amenazadas, 11 bajo protección especial y una en peligro de extinción como es el caso del ajolote de Xochimilco *Ambystoma mexicanum* (SEMARNAT, 2010).

La conservación *ex situ* consiste en el mantenimiento de poblaciones de especies amenazadas o en peligro de extinción fuera de sus hábitats naturales con el objetivo de apoyar programas de conservación *in situ* o dentro de su entorno natural, este proceso implica almacenamiento de recursos genéticos en bancos de germoplasmas, colecciones de campo y manejo de especies en cautiverio (Consortio GTZ/FUNDECO/IE, 2001). Esta es una valiosa herramienta para realizar estudios sobre distintos aspectos de la biología o conducta de las especies, el desarrollo de tratamientos para prevenir enfermedades tanto en poblaciones silvestres como en individuos confinados para reintroducirlos al medio silvestre (Lascuráin *et al.*, 2009). En lo referente a las especies mexicanas incluidas en los distintos Apéndices de la Convención Internacional sobre el Comercio de Especies de Flora y Fauna (CITES) en México existen 1 842 especies enlistadas. El cual hasta 2016 incluyen 137 especies en peligro de extinción, entre las cuales la mayor parte de las especies del Orden Caudata, Familia Ambystomatidae se encuentran en alguna categoría de riesgo (UNEP, 2016).

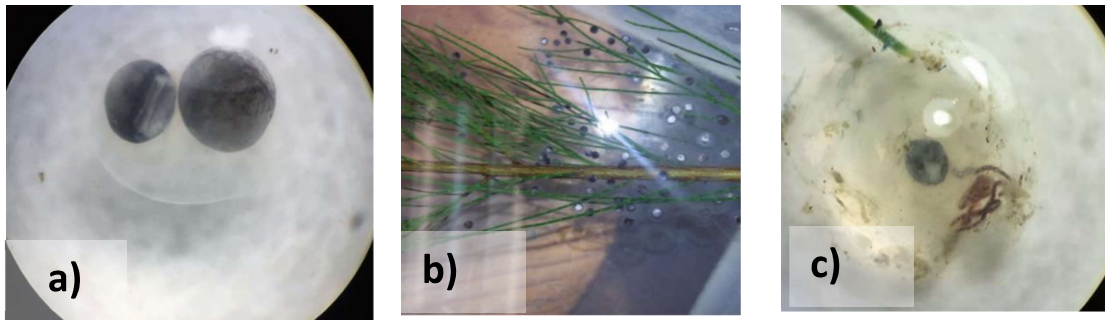
El presente servicio social se vinculó con la misión de Universidad Autónoma Metropolitana que está comprometida con la formación de profesionales con capacidad para identificar y resolver problemas de la realidad, así como para trabajar en equipos interdisciplinarios y con un fuerte compromiso social; desarrollar investigación orientada a la solución de problemas socialmente relevantes mediante una participación activa en donde todo el tiempo se cuestiona y razona (Arbesú, 1996) el problema eje, en este caso es importante hacer énfasis en las herramientas de conservación de especies nativas como *Ambystoma mexicanum*, los cuales se encuentran en riesgo de extinción, siendo el mantenimiento y reproducción en cautiverio una de las estrategias para su conservación. Las actividades que se desarrollaron se vinculan con los módulos de “Biodiversidad y Recursos Naturales” y con “Historias de Vida”, donde éste último se enfoca en el conocimiento del ciclo biológico de las especies desde el punto de vista evolutivo. El aprendizaje adquirido durante el servicio social fue el manejo del ciclo biológico completo de la especie endémica en riesgo *Ambystoma mexicanum* y la identificación de sus etapas de su desarrollo embrionario, ya que al conocer su correcto manejo se les brindará una calidad de vida *ex situ*, obteniendo el conocimiento necesario sobre la importancia biológica y cultural de esta especie.

## VIII. Referencias

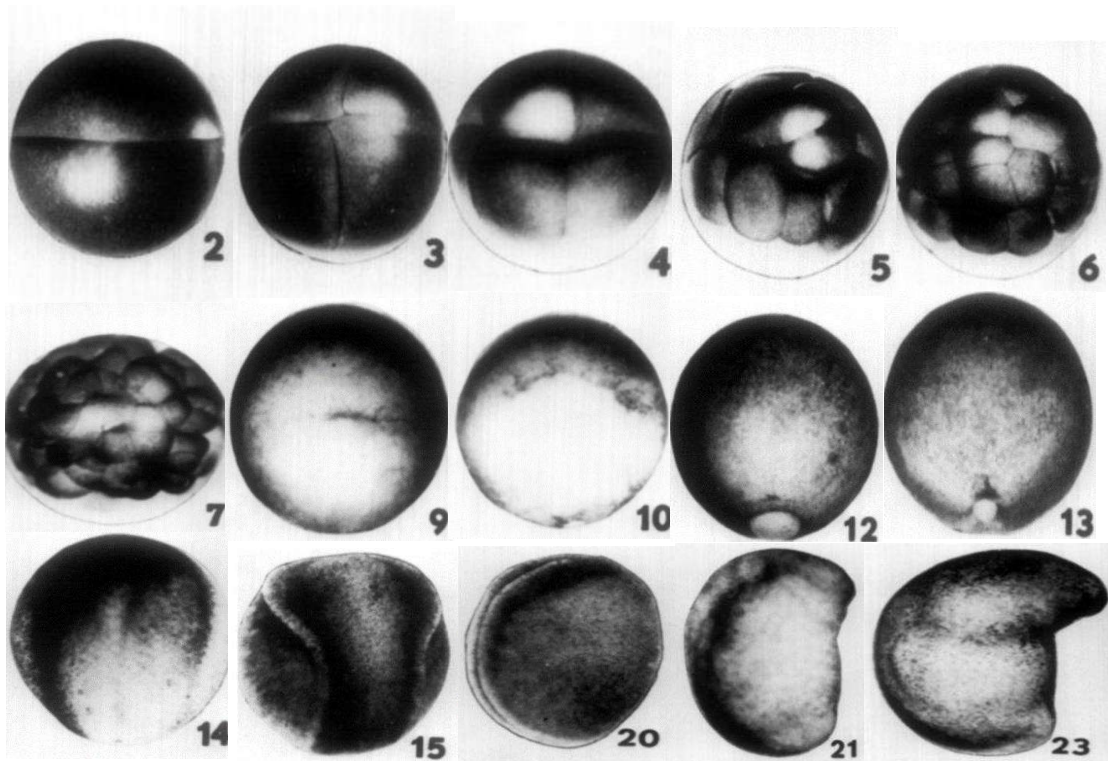
- Arbesú, I. (1996) El sistema modular Xochimilco. Pp. 10-24. En: El sistema modular, la UAM-X y la universidad pública. México: Casa abierta al tiempo Universidad Autónoma Metropolitana
- Arce, E. y J. Luna. (2003). Efecto de dietas con diferente contenido proteico en la tasa de crecimiento de crías de bagre del balsas, *Ictalurus balsanus* (*Ictaluridae*) en condiciones de cautiverio. *Aquatic* (18): 39-47.
- Bordzilovskaya, N. P., & Dettlaff, T. A. (1991). The axolotl *Ambystoma mexicanum*. In *Animal Species for Developmental Studies: Vertebrates* (pp. 203-230). Boston, MA: Springer US.
- Consortio GTZ/FUNDECO/IE. (2001). Estrategia regional de biodiversidad. *Conservación ex situ*. La Paz - Bolivia. Arce, E. y J. Luna. 2003. Efecto de dietas con diferente contenido proteico en la tasa de crecimiento de crías de bagre del balsas, *Ictalurus balsanus* (*ictaluridae*) en condiciones de cautiverio. *Aquatic* (18): 39-47.
- Flores-Villela, O. (1993). Herpetofauna of Mexico: distribution and endemism. In *Biological diversity of Mexico: origins and distributions*, T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds). Oxford University Press, New York. p. 253-280.
- Frost, D. R., Grant, T., Faivovich, J., Bain, R. H., Haas, A., Haddad, C. F. y Wheeler, W. C. (2006). The amphibian tree of life. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2006(297), 1-291.
- García Dávila, S. y Aguilar-Sánchez, V. Factores ambientales que favorecen la reproducción del axolote de Xochimilco bajo cuidado humano: una revisión sistemática. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 6(4), e755-101.
- Hervas, F., Torres, K. P., Montenegro-Larrea, P., & del Pino, E. M. (2015). Development and gastrulation in *Hyloxalus vertebralis* and *Dendrobates auratus* (Anura: Dendrobatidae). *Amphibian & Reptile Conservation*, 8(1): 121-135.
- Lascuráin, M., List, R., Barraza, L., Díaz, E., Gual, F., Maunder, M., M., Dorantes, J. y Luna, V.E. (2009). Conservación de especies *ex situ*. En *Capital natural de Mexico*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, Mexico, pp 517-544.

- Mena, G.H. y Servín, Z. E. (2014). Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). Instituto de biología. Universidad autónoma de México. México, Distrito Federal.
- Molina, V. A. (2010). El ajolote de Xochimilco. Ciencias, núm. 98, abril-junio, Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 54-59.
- Parra-Olea, G., Flores-Villela, O. y Mendoza-Almeralla, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85:460-466.
- Cid, R. I. (2015). Seguimiento del desarrollo embrionario y osteogénesis en *Ambystoma mexicanum*. Tesis de Licenciatura, Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 85 p.
- 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*. México.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2015). Proyecto de modificación del Anexo Normativo III, Lista de Especies en Riesgo de la 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, Diario Oficial de la Federación, Distrito Federal, México.
- Schreckenberg, G. M., & Jacobson, A. G. (1975). Normal stages of development of the axolotl, *Ambystoma mexicanum*. *Developmental biology*, 42(2), 391-399.
- UNEP. (2016). Convención sobre el Comercio Internacional de Especies. *CITES*
- Vázquez-Silva, G., Arana, M. F. C., López De la R, A. K., Hernández, G. P. A., Mendoza, M. G y Martínez, G. J. A. (2019). Efecto de la levadura de selenio en el crecimiento, supervivencia y potencial reproductivo de *Ambystoma mexicanum*. *Revista mexicana de Agroecosistemas*. Vol. 6 (suplemento 2), ISSN: 2007-9559

## IX. Anexos

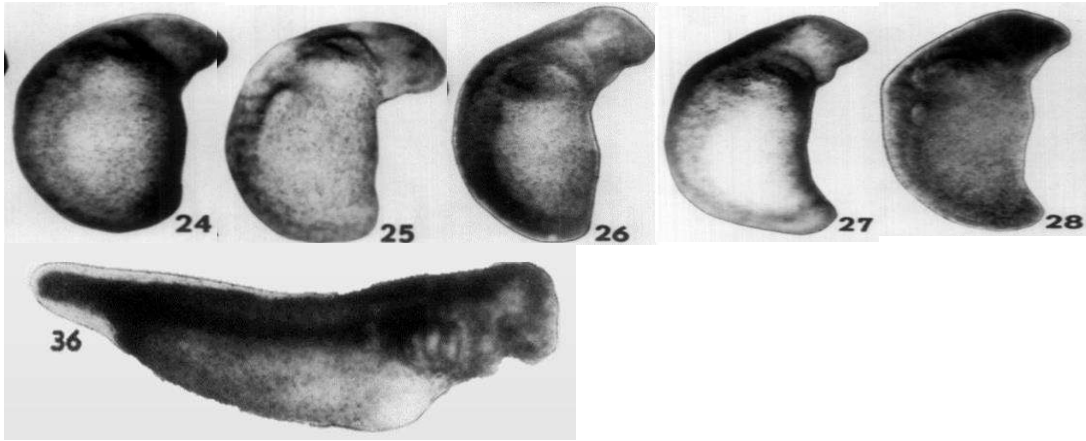


**Anexo A.** Características de los de huevos inviables encontrados en las puestas de *Ambystoma mexicanum*, a) huevos ponchados; c) huevos parasitados con hongos, c) huevo con gusano adherido.



**Anexo B.** Schreckenber M. (1975). Normal stages of Development of the axolotl, *Ambystoma mexicanum*. **2)** División en dos células, **3)** Segunda división de polo a polo, **5)** División en 16 células, **6)** Aparición Treinta células, **7)** Termina la división celular y inicia la blastulación, **9)** Inicia el Desarrollo de la gastrulación, **10)** El blastoporo formado en posición de media luna, **12)** El embrión rota y blastoporo forma un círculo, **13)** Inicia la etapa de la formación de la neurula, **14)** Los pliegues neurales son mas evidentes, **15)** El tubo neural en forma de herradura, **20)** Los pliegues neurales están cerrados, **21)** Enlongación del sistema nervioso.





**Anexo C.** Schreckenber M. (1975). Normal stages of Development of the axolotl, *Ambystoma mexicanum*. **24)** La cabeza es mas prominente, **25)** El arco mandibular se extiende al igual que la cabeza, **26)** Sistema nervioso mas desarrollado, **27)** Parte de la cola mas visible, **28)** Cuerpo mas alargado, **36)** Aparición de las tres branquias.