



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ASPECTOS REPRODUCTIVOS, PRODUCCIÓN DE CRÍAS Y
CRECIMIENTO DE *Ambystoma mexicanum* EN
ESTANQUES CIRCULARES EXTERIORES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A:

MORALES CERVANTES VERÓNICA



DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ ROMÁN LATOURNERIE CERVERA

2017

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

Datos del alumno

Morales
Cervantes
Verónica
52773467
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
307205535

Datos del tutor

Dr.
José Román
Latournerié
Cervera

Datos del sinodal 1

Dr.
Gustavo
Casas
Andreu

Datos del sinodal 2

Dr.
Oscar Alberto
Flores
Villela

Datos de sinodal 3

Dra.
Graciela
Gómez
Álvarez

Datos de sinodal 4

Dra.
Patricia
Rivas
Manzano

Datos del Trabajo escrito

Aspectos reproductivos, producción de crías y crecimiento de *Ambystoma mexicanum* en estanques circulares exteriores.

53 p
2017

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo y conclusión de este trabajo fue gracias al apoyo de maestros, amigos y familiares y sobre todo gracias al apoyo de la UNAM, máxima casa de estudio que me abrió las puertas y que además de otorgarme conocimientos, me inculco la pasión por buscarlos y generarlos.

Al Dr. José R. Latournerié Cervera que me ha brindado su apoyo y que ha guiado mi camino desde el primer día que solicite su consejo y que siempre me ha ofrecido su ayuda siendo mi profesor de acuacultura y de taller, tutor de servicio social, director de tesis y amigo. Gracias por su dedicación y su tiempo, por trasmitirme sus conocimientos y enseñarme de sus experiencias, gracias por formar parte de mi formación profesional, sin usted este trabajo no habría sido posible.

Agradecemos las facilidades brindadas para la consecución de esta investigación al Biólogo Fernando Carlos Arana Magallón ex - coordinador del CIBAC, así como a las Biólogas Abigail Rodríguez Ayala y Guadalupe Angelina Saldaña Arias y alumnos del CIBAC. A los alumnos Arredondo Cruz Mariela, Gutiérrez Astorga Edgar Arturo, Jiménez Morales Karla Lizbeth, Rangel Nambo María Isabel y Valencia Juárez Ma. de Lourdes del Taller Evaluación ecológica - económica de ambientes dulceacuícolas y especies acuáticas: Laboratorio de Acuacultura. Facultad de Ciencias, UNAM, por el apoyo brindado durante la etapa experimental, por su ayuda, esfuerzo y dedicación, por su compañía en los trabajos del CIBAC, por hacer el trabajo más interesante y divertido

A los biólogos Oscar De Lázaro y Dafne Bonilla por sus enseñanzas y comentarios que me ayudaron a mejorar este trabajo, por sus consejos y su apoyo en el trabajo de campo, por el tiempo brindado tanto en lo profesional como emocional, por la motivación y amistad forjada durante esta experiencia.

Se agradece a la Secretaría de Ciencia Tecnología e Innovación (SECITI), el financiamiento de esta investigación, a través del convenio SECITI 070/2016.

DEDICATORIAS.

Familia y amigos

A mi mamá **Patricia Cervantes** por tu eterna compañía, tu infinita comprensión y tu inmenso cariño, por el apoyo incondicional y por pasar conmigo grandes momentos de mi vida, por enseñarme a salir adelante y motivarme a ser mejor persona.

A mi papá **Eduardo Morales** por tus grandes consejos, por brindarme motivación cuando yo la perdía, por tu compañía durante este proceso y por ayudarme a siempre a salir adelante.

A mi tío **Salvador Cervantes** que es más que un tío para mí; por tu apoyo durante este tiempo, por tus consejos y gran cariño, por ser un pilar para mi familia, y por contagiarme tu fuerza.

A **Dolores Maya**, que desde siempre ha estado conmigo, que me ha acompañado a todos los lugares a los que tenía miedo de ir sola; que siempre me da la bendición cuando salgo de casa, que ora por mí cuando he pasado por momentos difíciles.

A mi abuelita **María Ramírez** por su compañía y cariño y porque muchas veces “ha bajado la corte celestial” para mí para que pudiera salir adelante ante los obstáculos que se presentaron. A mi abuelito **Salvador Cervantes Vidal** a quien siempre tengo presente por su cariño y por la gran sabiduría que tenía y que sé, me ha acompañado siempre y sobretodo en este proceso.

A mi hermano **Alejandro Morales** que hace interesantes e impredecibles mis días, por su compañía y cariño.

A mi amigo del laboratorio de Acuicultura **Óscar de Lázaro** por tu gran apoyo, por ayudarme infinitas veces cuando lo necesité, por enseñarme cosas nuevas y por los consejos otorgados, por levantarme el ánimo y sobre todo por la compañía durante las horas de trabajo que además las convirtieron en horas de diversión.

A mi Sempai **Dafne Bonilla Cerquedo** por estar siempre conmigo aconsejándome en los momentos de duda, por brindarme tu ayuda siempre que lo necesite, por la compañía en las horas de trabajo, gracias por tu linda amistad y tu apoyo desde que entre al taller.

A **Ximena Trejo, Laura Galván, Edith García, y Brianda Mondragón**, por todo su apoyo, amistad y cariño, por la amistad forjada durante estos años, por todos los recuerdos que generamos y que seguiremos construyendo, su amistad es muy valiosa para mí.

A mis alumnos de japonés, cada uno de ellos me ha hecho mejor persona y de quienes he aprendido muchas cosas, entre ellas a no rendirme nunca.

A **Rodrigo Aldana**, he aprendido mucho de ti; gracias por darme la motivación que necesitaba cuando me hacía falta. Te quiero.

A **Rocío García y Daniel Hernández**, compañeros de japonés y sobretodo mejores amigos, gracias por los infinitos momentos de diversión y la gran amistad que hemos hecho, por su apoyo y consejos. Espero que sigamos divirtiéndonos durante muchos años más, Rocío una dedicatoria especial para ti que has seguido el mismo camino que yo, sé que serás una gran bióloga.

Yo he encontrado que son las cosas pequeñas, los actos cotidianos de personas ordinarias
los que alejan a la maldad; los simples actos de gentileza y amor.

J.R.R. Tolkien.

No todos aquellos que viajan sin rumbo están perdidos.

J.R.R Tolkien.

No hay nada en el mundo más difícil que convencer a alguien de una verdad desconocida.

Kvothe; Patrick Rothfuss.

La vida es y siempre seguirá siendo una ecuación incapaz de resolver, pero tiene ciertos
factores que conocemos.

Nikola Tesla.

El científico no tiene por objeto un resultado inmediato. Él no espera que sus ideas avanzadas
sean fácilmente aceptadas. Su deber es sentar las bases para aquellos que están por venir, y
señalar el camino.

Nikola Tesla.

No me importa si un animal es capaz de razonar. Solo sé que es capaz de sufrir y por ello lo
considero mi prójimo.

Albert Achweizer

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE CUADROS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	8
Justificación	11
HIPÓTESIS	11
Objetivos	11
Objetivo general	11
Objetivos Particulares	11
MATERIALES Y MÉTODO	12
Descripción del área de estudio.	12
Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC).	13
Progenitores y distribución de las densidades de los huevecillos.	15
Biometrías	16
Índice de supervivencia.	18
Análisis de calidad del agua.	19
Análisis estadístico.	19
RESULTADOS	20
Desarrollo embrionario.	20

Calidad del agua.	24
Análisis y comparación de Biometrías para ambos desoves.	25
Análisis de supervivencia.	30
DISCUSIÓN.	30
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	34
LITERATURA CITADA.	35

Lista de Figuras

Figura		Página
1	Mapa de Xochimilco, se observa la zona lacustre al norte, el cruce del anillo periférico y a las delegaciones con las que colinda la zona, así como el polígono del área natural protegida (recuadro) (Tomado y modificado de INEGI, 2014).	12
2	Mapa digital del Área Natural Protegida de Xochimilco. (Tomado de Google maps©, 2014).	13
3	Ubicación del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC). Imagen tomada de Google Maps © 2016.	14
4	Distribución de los estanques circulares dentro del CIBAC, se aprecian a la izquierda los estanques pequeños donde se realizó el experimento	14
5	Se observa el estanque circular exterior de densidad baja cubierto con tela mosquitero negra, todos los estanques del experimento se encontraban cubiertos de la misma manera.	15
6	Esquema de la distribución y origen de los huevecillos colocados en los estanques exteriores.	16
7	Ajolote colectado del tratamiento "Densidad Baja".	16
8	Proceso de colecta de los ajolotes, para la captura se utilizaron redes para acuario.	17
9	Pesaje del ajolote con balanza digital en el laboratorio del CIBAC. Organismo proveniente del tratamiento de densidad baja.	17
10	Medición de los organismos. Ajolote del tratamiento "Densidad Alta" del desove de enero en el ictiómetro de pvc y cinta métrica.	18
11	Huevecillo rodeado por vitelo. Embrión entre etapas 7 y 8. (A) Vista superior. (B) vista lateral, inicia la primer invaginación en el embrión.	20
12	Huevecillo rodeado por vitelo y crece el hundimiento de la primer invaginación. Embrión entre etapas 11 y 12 (A) Vista superior. (B) fotografía Digital, vista lateral.	20
13	Se desarrollan los 3 primordios branquiales: Embrión entre etapas 30 - 33 (Bordzilovska en 1979). (A) Vista superior (B) Vista lateral.	21
14	Día 10. En el área encefálica se observan los surcos branquiales y la presencia de hendiduras que indican la posición de los ojos, el embrión se encuentra entre etapas 31 – 33 (Bordzilovska en 1979). (A) Vista ventral. (B) Vista superior.	21
15	Se observan los nódulos externos que formaran las branquias. El embrión se encuentra entre etapas 32–34 (Bordzilovska en 1979). (A) Vista superior. (B) Vista lateral.	21
16	Día 15. Se observa el crecimiento de los primeros filamentos branquiales. Etapa 39 (Bordzilovska en 1979).	22
17	Las branquias aumentan su longitud y se distinguen los primeros indicios de la boca. Etapa 39 (Bordzilovska en 1979).	22
18	El número de filamentos branquiales aumenta, 3 en la primera y 4 en la segunda.	22
19	Día 22. Se desarrollan los brotes de las extremidades anteriores y la boca se observa delineada. Aumenta el número de filamentos branquiales, 4 en la primera branquia, 5 filamentos en la segunda y la tercera, los ojos están más desarrollados y aumenta de tamaño. Etapa 40-41 (Bordzilovska en 1979).	23

20	Relación del desarrollo embrionario de <i>A. mexicanum</i> y °C / día acumulados. En el recuadro superior izquierdo, se indican los estadios de desarrollo de acuerdo a Bordzilovska, (1979).	23
21	Diagrama de caja. (A) Curvas de crecimiento de peso húmedo (PH), (B) Curvas de crecimiento de longitud total (LT) del desove de diciembre.	25
22	Diagramas de caja del desove de enero.(A y B) curvas de crecimiento de PH y LT respectivamente.	28
23	Histogramas de PH (A) y LT (B) de <i>A. mexicanum</i> del desove de enero, para las tres densidades ensayadas: DB, DM y DA (Baja, media y alta).	29

LISTA DE CUADROS.

Cuadro		Página
1	Distribución del número de huevecillos de <i>A. mexicanum</i> en las densidades ensayadas.	15
2	Parámetros de calidad del agua medidos durante la etapa de crecimiento de <i>A. mexicanum</i> , a tres densidades.	24
3	Comparación de los parámetros físico-químicos obtenidos en los tres estanques con los resultados obtenidos por Ramírez Carrillo Et al., (2009) y diversas Normas Internacionales	24
4	Crecimiento de <i>A. mexicanum</i> , desove de diciembre. Peso Húmedo y Longitud Total.	27
5	Crecimiento de <i>A. mexicanum</i> del desove de enero. Datos de PH (g) y LT (cm) de las tres densidades.	27
6	Supervivencia de <i>A. mexicanum</i> las tres densidades ensayadas.	29

LISTADO DE ABREVIATURAS.

Abreviatura	Significado
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
Cw	Clima templado subhúmedo con lluvias en verano.
CIBAC	Centro de Investigación Biológica y Acuícola de Cuernavaca.
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana.
PH	Peso Húmedo.
LT	Longitud Total.
PVC	Policloruro de Vinilo.
D1	Densidad Baja.
D2	Densidad Media.
D3	Densidad Alta.
DB	Densidad Baja.
DM	Densidad Media.
DA	Densidad Alta.
ST	Sólidos Totales.
O ₂	Oxígeno Disuelto.
D11	Densidad Baja, biometría 1.
D17	Densidad Baja, biometría 7.
D21	Densidad Media, biometría 1.
D27	Densidad Media, biometría 7.
D31	Densidad Alta, biometría 1.
D37	Densidad Alta, biometría 7.
D.S	Desviación Estándar.

RESUMEN

Se determinó el efecto de tres poblaciones con diferentes densidades sobre el crecimiento de *Ambystoma mexicanum*, tomando como indicadores de desempeño la Longitud Total (LT) y el Peso Húmedo (PH), durante esta fase se evaluó la calidad del agua y la supervivencia de los ajolotes. Asimismo, se realizó una descripción de las principales etapas del desarrollo embrionario de la especie. Los organismos se obtuvieron de dos desoves múltiples bajo condiciones controladas, (diciembre y enero) del desove de enero se obtuvieron 1330 huevecillos que fueron distribuidos en tres diferentes densidades: D1, D2 y D3 con 180, 400 y 750 huevos respectivamente. Del desove acontecido en diciembre se obtuvieron 450 huevecillos, éste fue considerado equivalente a la densidad D2. Una vez eclosionados los organismos se colocaron en estanques circulares exteriores de 6m³ cada uno protegido con malla mosquitera negra, las crías y juveniles fueron alimentados con pulga de agua (*Daphnia* sp) y *Tubifex* a saciedad. Se realizaron siete biometrías, en el lapso de febrero a mayo. Una vez que los organismos alcanzaban en promedio 10 cm de LT, (talla que se consideró adecuada para su posterior liberación en el lago de San Gregorio Atlapulco), se concluyó la fase experimental. Para el análisis de desarrollo embrionario se tomaron 11 muestras de huevecillos del desove de diciembre entre la puesta y el avivamiento de las crías y se fijaron en formol al 5%. Se fotografiaron y describieron las etapas observadas comparándolas con las propuestas por Bordzilovska (1979). No se encontraron alteraciones en las muestras indicando que el desarrollo embrionario de los organismos se completó de manera normal, en 22 días y 302°C acumulados. Respecto a la calidad del agua se midieron los siguientes parámetros físico-químicos de los estanques de cultivo: oxígeno disuelto, temperatura, pH, sólidos totales (ST), conductividad y NH₄. Los resultados de calidad del agua mostraron que esta fue apta para el cultivo de ajolote y no se encontraron diferencias significativas entre los estanques. El crecimiento de los ajolotes si fue influenciado significativamente por las densidades ensayadas ($p < 0.05$). Al termino del experimento se calculó el índice de supervivencia realizándose un censo de todos los organismos supervivientes, se encontró 68.8% de supervivencia para D1 y 46% para D2 y D3. La prueba de Shapiro - Wilk mostró a D2 como el grupo más homogéneo tanto para LT como PH. No obstante, en todos los tratamientos se formaron dos grupos; en D1 se obtuvo tendencia a pesos pequeños y tallas grandes, D2 presentó pesos altos y D3 pesos pequeños. El conocimiento generado en este estudio permite sentar las bases para la futura producción de *Ambystoma mexicanum*, optimizando el número de organismos por estanque y disminuyendo los costos de producción.

Contribución No. 182. Laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática. Departamento de Biología Comparada. Facultad de Ciencias, UNAM.

ABSTRACT

The effect of three population densities on the development of *Ambystoma mexicanum* was determined, taking as performance indicators the Total length (TL) and Wet Weight (WW), during this phase it was evaluated the water quality and axolotl survival.

A description of the embryonic development principal stages of the species was performed. The organisms were obtained from two multiples spawns under controlled conditions (December and January) from the January spawn 1330 eggs were obtained and were distributed in three different densities: D1, D2, D3 with 180, 400 and 750 eggs respectively. From de spawn occurred on December 450 eggs were obtained, this was considered similar to density D2. Once the eggs hatched, the organisms were placed in outer circular tanks of 6m³ each one protected with black insect screen, the larvae and juveniles were feed with water flea (*Daphnia*) and *Tubifex* until fullness. 7 biometrics were performed on February to May period. Once the organisms achieve 10 cm TL average, (size that was considered adequate for their future release in the San Gregorio Atlapulco wetland) the experimental phase was concluded. For the embryonic development analysis 11 samples were taken from de eggs spawned on December between the laying and the hatch and were fixed in 5% formalin. The stages observed were photographed and described comparing them with the stages suggested by Bordzilovska (1979). Alteration in the samples were not founded showing that the embryonic development of the organisms was complete in a normally way, in 22 days and 302°C accumulated. Regard to water quality the next physico - chemical parameters of the culture tanks were measured: dissolved oxygen, temperature, pH, total solids (TS), conductivity and NH₄. The results of water quality showed that it was suitable for the culture of axolotl and no significant differences were found among tanks. On the other hand, axolot's growth was significant influenced by population density ($p < 0.05$). At the end of the experiment the survival rate was determined by making a census of all the survival organisms, it was found 68.8% of survival for D1 and 46% for D2 and D3. The Shapiro-Wilk test showed D2 like the more homogeneous group for LT and PH. However in all the treatments two groups were formed; D1 showed a tendency to small weights and big sizes, D2 presented high weights and D3 small weights. The knowledge generated in this study provides the basis for the future production of *Ambystoma mexicanum* by optimizing the number of organisms per tanks and reducing production cost.

INTRODUCCIÓN

El ajolote de Xochimilco *Ambystoma mexicanum* es un anfibio que pertenece al orden urodela en donde se agrupan todas las salamandras. La palabra anfibio se deriva de las palabras griegas *amphi* que significa doble y *bios* que significa vida. Un anfibio típico es un animal que vive una doble vida, teniendo la capacidad de llevar a cabo la metamorfosis, modificando sus características anatómicas y fisiológicas, cambiando de un animal acuático a uno terrestre (Servín, 2011). Sin embargo, siempre existen excepciones y en este caso el ajolote es una de ellas ya que todo su ciclo de vida ocurre dentro del medio acuático, esto se debe a una de las características más importantes de la especie que es la neotenia; la neotenia es la capacidad de madurar sexualmente, conservando un estadio larval, de manera que el sistema reproductivo y las células germinales maduran, pero el resto del cuerpo conserva su forma juvenil durante toda la vida. En otras especies de salamandras al producirse la metamorfosis, tiene lugar la madurez sexual en el cuerpo adulto, específicamente el *Ambystoma mexicanum* no experimenta metamorfosis en la naturaleza debido a que su glándula hipófisis no libera tirotrófina (hormona estimulante de la tiroides) para activar la síntesis de tiroxina (hormona que activa la metamorfosis) (Prahlad *et al.*, 1965; Norris *et al.*, 1973; Taurog *et al.*, 1974). El hecho de que esta especie sea neoténica la hace especialmente susceptible a los contaminantes presentes en su medio natural ya que pasan su vida entera en forma de larva (Graue, 1998 y Flores *et al.*, 1995).

Ambystoma mexicanum mide cerca de 15 cm de largo, posee cuatro extremidades cortas que terminan en dedos frágiles, los dos miembros anteriores terminan en cuatro dedos y los posteriores en cinco dedos. Posee una aleta que corre por el dorso hasta convertirse en una cola comprimida lateralmente (Servin, 2011). Sus extremidades anteriores y posteriores suelen ser pequeñas, y hay ausencia de membrana interdigital (Ortega, 2000). Su cabeza posee en ambos lados tres pares de branquias largas y plumosas. Sus ojos están localizados a los lados de la cabeza, son pequeños y no tienen un campo de visión amplio. (Servin, 2011). Las patas tienen dedos finos y puntiagudos que no desarrollan uñas (CONABIO, 2011). Su boca es grande y tienen alrededor de 126 dientes maxilares y premaxilares, y de 18 a 20 dientes vomeropalatinos y su lengua es retráctil (CONABIO, 2011).

Su coloración es muy variable, existen desde organismos color café oscuro a negro en estado silvestre con manchas oscuras en el dorso y a los costados del cuerpo. Organismos albinos y dorados criados en cautiverio y debido a la expresión de diferentes genes puede haber varios tonos más como verde pardo, anaranjado negro, e incluso varios tipos de albinos como albino dorado, albino blanco o blanco con ojos negros (CONABIO, 2011).

Distribución.

El ajolote mexicano se considera endémico e históricamente vivía en todo el complejo sistema lagunar que existía en el valle de México a principios del siglo XVI, el cual abarcaba el lago de Texcoco, el lago de Xochimilco, el lago de Chalco y sus conexiones con el lago de Zumpango y el lago de Xaltocán (CONABIO, 2011).

Actualmente, la población en vida libre es bastante pequeña y aunque fue difícil acceder a las poblaciones. Durante 2002 y 2003 se capturaron solo 42 especímenes cubriendo una zona de 39,173m², en el estudio que abarco 6 años (de 1998 a 2004) la densidad poblacional del ajolote se redujo de 0.006 org/m² a 0.001org/m². Sin embargo, parte de esta reducción también se debe a las propias dinámicas poblacionales (Zambrano *et al.* 2004).

Protección de la especie.

La Convención Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (1975) ubica a *Ambystoma mexicanum* en el apéndice II, el cual incluye especies no necesariamente amenazadas de extinción, pero cuyo comercio debe controlarse para evitar que así sea.

En México de las cuatro categorías que existen para especies en riesgo, (probablemente extinta en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazadas y sujetas a protección especial) *el A. mexicanum* se clasifica en la categoría de “peligro de extinción” que define aquellas especies las cuales han visto restringidas sus áreas de distribución o han disminuido el tamaño de población en territorio nacional, poniendo en riesgo la viabilidad biológica de estas especies en el hábitat natural. En 1994 *Ambystoma mexicanum* ingresó en la NOM-059-Ecol-1994 y en 2001 se reafirmó su situación y se actualizó en la NOM-059-Ecol-2010.

A nivel mundial la Unión internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (2006) por sus siglas en inglés, ubica a *A. mexicanum* en la categoría de “En peligro crítico” que son aquellas especies que enfrentan alto riesgo de extinción debido a:

- Que el tamaño de la población se reduce al más del 90% y se conocen las causas de la disminución.
- La reducción poblacional es del 80% y se desconocen sus causas.
- Cuando el área de distribución es de 100 km² o menos, la población es menor a 259 ejemplares maduros y persiste reduciéndose o bien es menor a 50 especímenes pero es estable.

Clima y hábitat.

El clima de la zona lacustre donde habita *A. mexicanum* es muy variable debido a la altura y geografía en que se encuentra, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (1964) es considerado: C (w2) (w) b (i'), templado subhúmedo, con lluvias en verano (Corona 2012). La temperatura anual varía entre 12° y 18°C, aunque pueden presentarse heladas de noviembre a enero (Corona 2012).

Su hábitat es acuático, vive en lagos, pozas y canales. Requieren condiciones particulares de turbidez, niveles de oxígeno en el agua mayores al 80% de saturación (Corona 2012), y condiciones estables de las corrientes, la temperatura ideal para los ajolotes es de 15 a 18°C, con un máximo de 22°C (CONABIO, 2011; Corona 2012).

La vegetación que solía rodear en abundancia el hábitat del ajolote mexicano, eran gramíneas y plantas herbáceas de hojas suculentas características de suelos salinos, alcalinos y mal drenados, así como algunos tipos de pastos. También se encontraba el bosque de pino-encino; ecosistema que ahora está fragmentado (CONABIO, 2011).

Reproducción.

Ambystoma mexicanum posee caracteres sexuales secundarios poco visibles, lo que significa que no existe dimorfismo sexual, es decir, que en la época reproductiva difícilmente se puede diferenciar a simple vista machos y hembras. No obstante, aparecen sutiles características anatómicas, ya que los machos adultos muestran un marcado ensanchamiento de los labios de la cloaca y además es más larga, mientras que las hembras adultas pueden tener el cuerpo más

robusto por el incremento en el tamaño de los ovarios y los oviductos o bien, por la presencia de huevecillos (Molina-Vázquez, 2010).

Esta especie se reproduce sexualmente y posee fecundación interna sin embargo, como en la mayoría de los anfibios, no poseen órganos copuladores (Molina-Vázquez, 2010). La copulación se lleva a cabo después de un vistoso ritual de cortejo, el macho es atraído por estímulos olfativos producidos por las feromonas de las hembras, cuando esto sucede el macho sigue a la hembra efectuando círculos consecutivos a lo largo de la columna de agua por tiempo indefinido, y una vez que logra cortejar a la hembra deposita en el sustrato su espermatóforo (que parece una masa gelatinosa en forma de cono) sobre el cual la hembra se posiciona para recogerlo con la cloaca e introducirlo en una espermateca (Molina-Vázquez, 2010). Aproximadamente 24 horas después de la fecundación, la hembra libera entre 600 y 1500 huevos, los cuales deposita paulatinamente tardando a veces, hasta tres días. No construye madrigueras ni refugios; los huevos son depositados en la vegetación prefiriendo aquella con raíces esponjosas y densas donde los huevos estarán más protegidos (CONABIO, 2011).

La madurez sexual de los ajolotes está controlada por el eje Hipotálamo-Hipófisis-Gonadal (Jorgensen, 1992) que controla la síntesis hormonal. Los ajolotes hembras y machos alcanzan su madurez sexual al mismo tiempo, es decir, al año de vida, (Servín, 2011). La edad de reproducción en condiciones óptimas es después del año. Sin embargo, es común que se tarden año y medio en madurar sexualmente (Armstrong *et al.*, 1989). La cantidad de huevecillos que puede poner una hembra adulta es alrededor de 600 huevecillos por puesta (Armstrong *et al.*, 1989); pero pueden producir de 200 a 1500 (Duellman *et al.*, 1986) según las condiciones ambientales, salud y edad de los organismos. En condiciones ideales de cautiverio las hembras son capaces de tener puestas cada dos meses sin reducir la cantidad de huevecillos en las puestas. Sin embargo, estas cantidades de huevecillos únicamente se mantienen durante 5 ó 6 años, y después el número de huevecillos decrece y los que se ponen exhiben bajos valores de sobrevivencia pues al incrementarse la edad de los reproductores, la calidad de los gametos disminuye y se reduce el número de puestas, por lo que no son útiles para la reproducción (Armstrong *et al.*, 1989). En condiciones de laboratorio, se puede manipular el número de huevecillos por puesta, si a una hembra fecundada en condiciones experimentales se le suministra hormona gonadotropina coriónica, puede ovopositar hasta 1800 huevos (Molina, 2010).

De manera natural, la época reproductiva tiene lugar de diciembre a junio, aunque los criadores y pescadores de Xochimilco, mencionan que esto se lleva a cabo de noviembre a abril (Servín, 2011). En cautiverio, el factor del fotoperiodo puede ser determinante, se recomienda que se mantenga un periodo de luz de 12 horas por 12 horas de oscuridad y temperatura baja de esa manera se puede tener reproducción durante todo el (Servín, 2011).

Densidad poblacional

El interés por *A. mexicanum* ha generado la aparición de diferentes granjas de reproducción a nivel internacional (Zambrano *et al.*, 2004). La interpretación de los efectos de la densidad poblacional de siembra en los indicadores productivos de cualquier especie piscícola es compleja, ya que en los resultados influyen diversos factores, como el flujo y calidad del agua, la composición y tamaño de la ración de alimento y la especie, entre otros (Dai *et al.*, 2011).

Cuando la capacidad de carga se satura el número de individuos genera competencia por los recursos, en este caso al ser de la misma especie ocasiona competencia intraespecífica, que en

ocasiones puede provocar cambios bruscos del tamaño poblacional; además la competencia puede reducir el éxito reproductivo de los individuos que interactúan (Curtis, 2008). Pero también la competencia, junto con perturbaciones físicas del ambiente terminan por reducir la densidad (Bertness, 1989) y la población ya no sobrepasa la capacidad de carga.

Alimentación.

La dieta del *A. mexicanum* en vida libre puede ser variada. Valiente (2007) analizó el contenido estomacal de 12 ajolotes y encontró la presencia de materia vegetal y materia animal como insectos, crustáceos, peces, zooplancton, sanguijuelas y otros.

Los ajolotes como todos los anfibios son considerados carnívoros estrictos, en cautiverio algunas colonias tratan de basar sus dietas en presas muy similares o iguales a las de vida libre y otras más ofrecen alimentos comerciales a base de cárnicos de otros animales, o bien ofrecen dietas mixtas combinando alimento vivo con comercial (Servín, 2011).

La dieta y hábitos alimenticios varían según la etapa de desarrollo (Servín, 2011). Las crías recién eclosionadas conservan parte del saco vitelino de donde continúan obteniendo energía en las primeras horas de vida, una vez que eclosionan tienden a ser herbívoras, es importante proporcionarles microalgas (Servín, 2011). De 24 a 28 horas después de eclosionadas, se puede comenzar a dar pequeñas presas vivas, lo más común es la pulga de agua o *Daphnia sp*, otra opción son los nauplios de *Artemia salina* o bien pequeñas larvas de insectos de aproximadamente 3mm de largo, también llegan a aceptar *Tubifex sp* (Servín, 2011). En muchos laboratorios las larvas son alimentadas con *A. salina* hasta que alcanzan 2 o 3 cm de longitud (Armstrong, 1989).

A los juveniles se les puede ofrecer *Artemia*, *Tubifex sp*, “pellets” pequeños, lombriz de tierra y pequeños trozos de carne; mientras que a los adultos se les puede suministrar una dieta más variada como peces pequeños, acocil, *Tubifex sp*, lombriz de tierra, tenebrios, pequeños trozos de carne de res o pollo, grillos, o “pellets” comerciales entre otros (Servín, 2011). Sin embargo, Armstrong (1989) sugiere evitar los peces pequeños ya que pueden introducir parásitos. Una vez iniciada la etapa juvenil, se puede alimentar a los ajolotes con carne proveniente del corazón de res o pollo, la cual debe ser limpiada de grasa o bien con hígado. A los adultos se les alimenta tres veces por semana, mientras que a los juveniles se les alimenta diariamente (Armstrong, 1989).

La manera en que los ajolotes atrapan el alimento es por medio de succión repentina, utiliza sus dientes para retener a su presa y la traga completa. (CONABIO, 2011).

Calidad del agua.

Para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el uso que se le va a dar al recurso, así como el tipo de indicador que se va a aplicar (Jiménez-Cisneros, 2007). En la literatura no se reportan valores específicos para el cultivo de *A. mexicanum*, por lo que se consideran los valores registrados para otras especies de anfibios o peces de agua dulce, o bien los valores seguros utilizados en laboratorio para colonias de reproductores. Debe de tomarse en cuenta que el ajolote es un anfibio y como tal es muy sensible a los compuestos que conforman su entorno, debido a la permeabilidad de su piel y la facilidad con que pueden absorber sustancias y compuestos, incluyendo metales pesados (Servín, 2011). Por lo que son susceptibles a adquirir enfermedades en la dermis especialmente micóticas o intoxicaciones por los metales pesados.

Temperatura.

La temperatura ideal para los ajolotes es entre 15° a 18° C, con un máximo recomendado de 22°C. Sin embargo, las larvas se pueden mantener a 25° C, con lo que inclusive aceleran su desarrollo (Servín, 2011) ya que éste (dentro de límites seguros) es dependiente de la temperatura, lo cual es conveniente para obtener embriones de talla solicitada en tiempos más cortos (Armstrong, 1989). Bordzilovska (1979) mantuvo larvas a 29° C desde la puesta hasta la última etapa de desarrollo embrionario. En caso de no encontrarse en condiciones adecuadas de temperatura, los ajolotes pueden presentar anorexia, problemas de flotación, inmunodepresión y mortalidad (Servín, 2011).

Potencial hidrógeno (pH).

Los anfibios en general pueden habitar en estanques donde el agua tenga un rango de pH de 6.5 a 8.5. En el caso particular de *A. mexicanum*, la mayoría de los autores menciona que el rango ideal va de 6.5 a 8 unidades de pH, es importante mantener este rango para evitar problemas de salud en los animales (Servín, 2011). El descenso del pH puede provocar lesiones en la piel, observándose mudas excesivas, disminución de la movilidad y anorexia (Corona, 2012).

Oxígeno Disuelto.

Los ajolotes adquieren el oxígeno disuelto en el agua a través de sus branquias, la piel, y del aire atmosférico a través de los sacos pulmonares cuando suben a tomar su burbuja (Servín, 2011). El porcentaje de oxígeno disuelto debe ser del 80% de saturación (6.6mg/l), si disminuye de manera considerable, tienden a crecer bacterias anaerobias que pueden afectar la salud y equilibrio del hábitat donde se encuentren (Servín, 2011). Los estadios larvarios requieren de agua muy oxigenada ya que es determinante para su desarrollo y sobrevivencia (Valiente, 2007).

Amonio.

El amonio es el principal compuesto nitrogenado excretado por organismos acuáticos de agua dulce, por lo que los problemas de toxicidad pueden ocurrir en los sistemas de cultivo afectando la fisiología de los organismos a nivel celular, de órganos y de sistemas (Vinatea, 2002). Algunos de los signos clínicos de toxicidad reportados en ajolotes incluyen incremento en la producción de moco en piel, destrucción de la piel y branquias, opacidad corneal, exoftalmia, aumento en la toma de burbuja de aire atmosférico, hemorragias internas, disminución de crecimiento, además quedan susceptibles a infecciones secundarias, causadas por hongos y bacterias (Servín, 2011). Niveles seguros de amonio para los ajolotes de acuerdo con Robles (2009) son de 0.09 mg/L.

Conductividad y Sólidos totales disueltos (STD).

La conductividad eléctrica es la capacidad de un líquido para transmitir la corriente eléctrica, la cual se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Mientras mayor concentración de iones exista en el agua, mayor será la conductividad ya que ésta tiene una relación directa con la concentración de materiales disueltos (Corona, 2012) y se expresa con la siguiente igualdad:

$$\text{Sólidos totales disueltos (ppm)} = \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm}) \times 0.65$$

La conductividad se puede emplear para expresar la salinidad, ya que la salinidad se refiere a la composición iónica del agua (Corona, 2012). Aunque no se conocen niveles de salinidad adecuados específicamente para *A. mexicanum* (Corona, 2012), la literatura menciona que el agua con determinada concentración de sales minerales es benéfica para el mantenimiento de crías y es factible manejar una salinidad del 5%, pero niveles más altos llegan a ser mortales para las crías de ajolote (Servín, 2011).

Debido a los diferentes usos y métodos que tienen las granjas productoras de ajolote, la periodicidad en la que se midan los parámetros físico-químicos en condiciones de cultivo, dependerá del manejo de las instalaciones, ya que algunas colonias realizan cambios tan constantes que es preferible monitorear el agua de procedencia que la de los mismos acuarios (Servín, 2011).

Desarrollo Embrionario.

Una de las características más sorprendentes de la incubación en la mayoría de los huevecillos de anfibios, incluyendo al ajolote de Xochimilco, es el hecho de que los huevos son transparentes y es posible observar el desarrollo embrionario (Servín, 2011).

Harrison en 1969 hizo una publicación con la primera serie de etapas de desarrollo embrionario de *Ambystoma maculatum*, la cual fue dividida en 46 etapas basadas en las características morfológicas externas de los embriones; esta publicación se convirtió en un modelo comparable con las etapas de desarrollo embrionario de *A. mexicanum* publicadas por Schreckenber *et al.* (1975) y por Bordzilovskaya *et al.* (1979). Schreckenber *et al* dividió el desarrollo embrionario del ajolote en 40 etapas basándose también en características morfológicas externas y colocando los embriones a 18°C. A continuación se indican las etapas de desarrollo embrionario de *Ambystoma mexicanum* presentadas por Bordzilovska en 1979 descritas en embriones incubados a 29°C.

- La etapa 1 y 2 se describen como un huevecillo recién fertilizado rodeado por una capa gelatinosa y la aparición del primer surco de segmentación en el polo animal con solamente 2 células presentes. Desde de la etapa 2 hasta la etapa 7 las células se dividen hasta alcanzar un número de 64 células.
- En la etapa 8 aparece una blástula temprana; que en la etapa 9 madura a una fase llamada blástula tardía. En la etapa 10 aparece una gástrula temprana y se observa el inicio del blastoporo, ésta gástrula madurará en las etapas 11 y 12; en la etapa 13 aparece la néurula temprana que madurará hasta la etapa 21 (descrita posteriormente) pasando por néurula media y néurula tardía.
- En la etapa 14 la placa neural es ancha, los pliegues neurales se ven delineados y comienzan a elevarse hacia la superficie en la región de la cabeza.
- En la etapa 15 la placa neural tiene forma de escudo y los pliegues neurales suben y rodean la placa neural.
- Durante la etapa 16 que corresponde a la fase de néurula media los pliegues neurales se vuelven más grandes; la región espinal de la placa neural se estrecha y se hunde.
- En la fase de néurula tardía correspondiente a la etapa 17 se aprecia el surco hiomandibular que limita ligeramente al arco mandibular; comienza la segmentación del mesodermo y al inicio hay 2 pares de somitas presentes.
- En la etapa 18 la placa neural está completamente hundido, los pliegues neurales se están cerrando en la zona de la cabeza, mientras que en la región espinal ya están en contacto.
- En la etapa 19 los pliegues neurales están en contacto a lo largo del cuerpo pero aún no están fusionados, el arco hiomandibular es más profundo y hay 3 pares de somitas.

- En la etapa 20 los pliegues neurales están fusionados en la región espinal mientras que en la región del cerebro están en contacto pero no fusionados. Aparecen pequeñas marcas que indican las futuras branquias, el arco mandibular se observa prominente y ahora hay 4 pares de somitas presentes.
- En la etapa 21 los pliegues neurales están completamente fusionados en todas las regiones, el pronefros es visible como un pequeño bulto y hay 4 pares de somitas. La región cefálica se curva hacia abajo formando el arco mandibular y aparecen las curvaturas occipitales y parietales del cerebro.
- En la etapa 22 el pronefros y la región branquial maduran y hay de 5 a 6 pares de somitas, la zona ventral es más cóncava y aumenta la curvatura de la cabeza.
- En la etapa 23 aparece el primordio del oído que se aprecia como una depresión en el ectodermo cerca de la región del futuro arco hioideo.
- En la etapa 24 el pronefros y el ducto pronéfrico son claramente visibles y hay de 8 a 9 pares de somitas.
- En la etapa 25 aparece el primer surco branquial apenas delineado en la región dorsal del tubérculo que formará la branquia; hay 9 pares de somitas, el cuerpo del embrión sigue alargándose y aumenta la curvatura de la cabeza.
- En la etapa 26 el tubo pronéfrico es claramente visible a lo largo de 6 somitas y se observa el primordio del órgano olfatorio que se muestra como un tubérculo pequeño en la parte anterior de la cabeza y hay de 10 a 11 pares de somitas.
- Durante la etapa 27 aparece el segundo surco branquial en la región dorsal de la branquia y hay 12 pares de somitas.
- En la etapa 28 el cuerpo del embrión se alarga y la cabeza se curva hacia abajo, hay 14 pares de somitas presentes.
- En la etapa 29 aumenta el número de somitas a 16 pares.
- En la etapa 30 la cabeza se endereza, el cuerpo se alarga y crece la cola; aparece por primera vez el pliegue de la aleta dorsal.
- En la etapa 31 ya hay 19 pares de somitas, aparece el tercer surco branquial y de la etapa 32 a la 34 aumenta el número de somitas hasta llegar a 25 pares.
- Para la etapa 35 el eje del cuerpo que va desde el rombencéfalo hasta la cola está completamente derecho, se pueden observar 3 branquias externas en forma de nódulo. La aleta dorsal comienza en la quinta somita, aparecen los primeros cromatóforos y el corazón tiene sus primeros latidos.
- Durante las etapas 36 a 38 los brotes de filamentos aparecen en las branquias que crecen hasta que en la etapa 39, en donde la primera branquia ya tiene dos pares de filamentos, la segunda y la tercera branquia tienen tres pares cada una y estas cubren las yemas que formarán las extremidades; se aprecian los primeros rasgos de la boca.
- En la etapa 40 las branquias son más largas y aumenta el número de filamentos, en la primera branquia hay 4 pares de filamentos mientras que en la segunda y la tercera hay de 6 a 7 pares. Los rasgos de la boca se distinguen mejor que en la etapa 39.
- En la etapa 41 las branquias continúan alargándose, aumenta el número de filamentos e inicia la eclosión.
- En la etapa 42 las branquias se extienden retiradas de las extremidades anteriores, la boca está completamente definida pero no está separada.

- En la etapa 43 se distingue la boca que está completamente formada y abierta.

Ya que la temperatura modifica el tiempo de incubación, los embriones de Bordzilovska incubados a 29°C se desarrollaron en 14 días. Sin embargo, Servín (2011), menciona que a una temperatura de 22°C se obtuvieron embriones eclosionados en un promedio de 12 días en el zoológico de Chapultepec, Ciudad de México.

ANTECEDENTES

El ajolote *A. mexicanum* es una especie endémica de México, actualmente su distribución en el medio natural se limita a algunos cuerpos de agua de Xochimilco y Chalco, siendo Xochimilco donde se encuentra la población más importante (Zambrano, 2004). Diversos factores como mala calidad del agua en el ecosistema, pérdida del hábitat, la sobrepesca y la introducción de especies exóticas como carpa y tilapia han afectado de manera importante las poblaciones de *A. mexicanum*, por ello la especie se encuentra clasificada bajo la categoría de “En peligro de extinción” en la Norma Oficial (SEMARNAT, 2010). Debido a esta situación desde hace décadas se iniciaron investigaciones en las zonas de Xochimilco y Chalco, donde se encuentran las poblaciones naturales, para encontrar concretamente las causas de su disminución poblacional.

Debido a que el *A. mexicanum* posee características únicas que solo algunos anfibios llegan a presentar como neotenia y regeneración de tejidos (Servín, 2011), es atractiva para diferentes campos de investigación; por ej. en medicina regenerativa, embriología, evolución etc. Así, el interés por evitar la extinción de la especie llevó a la creación de granjas productoras de ajolote en condiciones de cautiverio a nivel internacional (Zambrano, 2004). Sin embargo, cada granja tiene diferentes objetivos en cuanto a producción, por ejemplo, la colonia de la universidad de Indiana en Estados Unidos está destinada a la cría de ajolotes manteniendo un “stock” genético dedicado a suplir embriones, larvas y algunos adultos genéticamente bien caracterizados a laboratorios de todo el mundo (Zambrano, 2004).

A pesar de la existencia de estas granjas, no existe información específica para el cultivo de ajolote. Servín (2004) menciona que debido a esta falta de datos varias instituciones que mantienen a la especie se han basado en características similares a las que requieren los peces de acuario de agua dulce.

Zambrano (2004) en el proyecto “Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco” mostró respecto a calidad del agua que en ese año las variables fisicoquímicas básicas tanto de Xochimilco como de Chalco estaban dentro de los rangos permitidos para la sobrevivencia y reproducción de los organismos registrando los siguientes valores: temperatura entre 16°C y 20°C. Niveles de oxígeno disuelto elevados (14.18 mg/l en promedio). El pH que varió de neutro a básico alcanzando valores de 9.18, mientras que la salinidad se encontró en condiciones normales de cuerpos de agua dulce (0.52 a 0.58 mg/l en promedio). La turbidez del agua siempre en niveles altos a causa del lodo de los canales alcanzando hasta 125 UTS. Mientras que la conductividad se reportó en condiciones normales. Sin embargo, a través de los años debido principalmente a la descarga de aguas residuales y manejo inadecuado del ecosistema, los niveles de

contaminación en Chalco y Xochimilco han aumentado y por lo tanto ya no se pueden considerar las aguas de estos lagos como óptimas para la sobrevivencia de los ajolotes.

En condiciones de cautiverio, existe poca información respecto al cultivo de ajolote, sin embargo, muchas instituciones que mantienen a esta especie en cautiverio, se han basado en características similares a las que requieren los peces de acuario de agua dulce, haciendo algunas modificaciones en cuanto a temperatura, salinidad y algunos otros (Scoot 1995).

Petranka (1984) encontró que entre las diversas variables que intervienen en el crecimiento de *Ambystoma texanum* la temperatura tiene efecto directo sobre la tiroxina (hormona secretada por la glándula tiroides), la cual regula el crecimiento y desarrollo en general de los ajolotes; a temperaturas por debajo del punto mínimo de tolerancia (15°C), la actividad de la tiroxina decrece abruptamente.

Los datos sobre desarrollo embrionario de *A. mexicanum* son escasos. Sin embargo, Harrison (1969) describió para *A. maculatum* las etapas de desarrollo embrionario, publicación que sirvió como modelo para: Schreckenber *et al.*, 1975 y para Bordzilovska *et al.*, 1979 en *Ambystoma mexicanum*.

Hernández-Avilés (1996) y Prado *et al.* (1996), para *A. mexicanum* mencionan que en cautiverio bajo condiciones óptimas de laboratorio la tasa de eclosión suele ser alta, cercana al 90% de la puesta y los ajolotes pueden alcanzar una vida media de 10 a 12 años, mientras que en condiciones naturales el promedio de edad máxima es de 3 años (Molina, 2010).

A pesar de este incremento en la aparición de granjas de cultivo de *Ambystoma*, la información disponible en la literatura en cuanto a densidad poblacional y sus efectos es escasa; sin embargo, podemos hablar a manera general de los efectos de la densidad poblacional sobre organismos de diferentes especies, sobre todos en aquellos dedicados a la acuicultura. Por ello, este proyecto se centra en investigar específicamente los efectos de la densidad poblacional en un sistema de cultivo con el *Ambystoma mexicanum*, partiendo de datos obtenidos con otros organismos y en sistemas de cultivo diferentes, por ejemplo Perea *et al.* (2006) en su publicación sobre densidad poblacional de caracoles (*Hélix aspersa*) en un sistema de producción, menciona que uno de los problemas que se presentan cuando disminuye la disponibilidad de alimento es que se produce una concentración de caracoles alrededor de los comederos y/o plantas lo que conlleva un mayor riesgo sanitario debido a la alta densidad de caracoles y en esta situación es importante que los individuos dispongan de refugios naturales y artificiales reduciendo así el riesgo de depredación y protegiéndolos del estrés ambiental (Lagrifa, 2002). Si la densidad es elevada, el crecimiento, la reproducción y el engorde se reducen o incluso se inhiben, aunque el alimento sea suficiente y de calidad. En estas condiciones es posible que feromonas, presentes en las secreciones naturales de los individuos, desencadenen la inhibición del ciclo productivo (Dupont-Nivet *et al.*, 2000; Cameron y Cárter, 1979).

Con estos datos se podría pensar que trabajar con densidades poblacionales bajas es la mejor opción en cuando a crecimiento y producción se refiere, sin embargo, en el caso del cultivo de bagre africano *Clarias gariepinus*, (Llanes *et al.* 2012), mostró que entre una densidad baja de 80 org./m³ y una densidad alta de 100 org./m³ no hubo diferencia significativa en cuando al

aumento en los indicadores de crecimiento (peso final, conversión alimentaria y supervivencia) concluyendo que la productividad de esta especie no se afecta al aumentar la densidad de 80 a 100 org./m³ y permite incrementar la productividad por área de cultivo., de esta manera conocer la densidad óptima es indispensable para mejorar la productividad de una granja acuícola.

Estudios sobre densidad poblacional en acociles mostraron que las poblaciones de la especie *Orconectes virilis* son reguladas por factores como canibalismo, depredación, cambios de temperatura, pH, y otros. (Momot y Gowing 1977). Además los investigadores Holdich y Lowery (1980) refieren numerosos reportes sobre la velocidad de crecimiento de diversas especies, pero los resultados son difíciles de comparar dada la variedad de condiciones ambientales y consideran que los efectos son contradictorios, pues en el caso de *Orconectes virilis* se obtuvo mayor crecimiento en poblaciones con densidad alta, mientras que en la especie *Cherax tenuimanus* ocurre lo contrario (Moctezuma-Malagon, 1996).

En el caso del bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*), tanto en la fase de larvicultura como en la mayor parte del periodo de alevinaje se presentan elevadas tasas de mortalidad, debido principalmente a depredación intraespecífica, conocida también como canibalismo fraternal e intra-cohorte (Kossowski, 1996; Qin y Fasst, 1996; Smerman et al., 2002; Núñez et al., 2008). Este proceso es favorecido por la heterogeneidad en las tasas de crecimiento, inadecuada alimentación y altas densidades poblacionales (Kossowski, 1996; Atencia-García y Zaniboni-Filho, 2006).

Sin embargo, en otras especies de silúridos de hábitos piscívoros, se ha reportado que ofreciendo alimento a saciedad, aumentando la frecuencia de alimentación, utilizando apropiadas densidades de siembra, realizando selección periódica por talla para substraer a los organismos jerarcas y proporcionando condiciones ambientales apropiadas, es posible disminuir el canibalismo (Kestemont *et al.*, 2003; Kennedy y Zanibon, 2002; Nuñez 2008). Como se sabe, diferentes especies presentan distintos comportamientos, por lo tanto, uno de los objetivos de este proyecto consistió en evaluar el porcentaje de sobrevivencia y desempeño del crecimiento en peso húmedo y longitud total en poblaciones de *Ambystoma mexicanum* con diferentes densidades en un sistema de cultivo no utilizado antes en la producción de *A. mexicanum*.

JUSTIFICACIÓN.

Debido al alto riesgo de extinción de *A. mexicanum*, es necesario explorar opciones de reproducción y cultivo de esta especie que sean de bajo costo y de alta eficiencia para así poder aumentar el tamaño de la población actual de la especie. El presente proyecto se enfoca en delimitar la densidad poblacional adecuada para el crecimiento de crías de *A. mexicanum* bajo condiciones de cultivo en estanques exteriores con el uso de agua proveniente de un humedal artificial y administrando alimento vivo *Daphnia sp* y *Tubifex sp* de manera que los costos de producción sean menores que en condiciones de laboratorio y al mismo tiempo lograr obtener un mayor número de organismos con baja mortalidad y de tamaño adecuado para posteriormente ser liberados en regiones menos perturbadas dentro de su hábitat natural, como es el caso del lago de conservación de San Gregorio Atlapulco (SGA), (Latournerié y Arana, 2013). Con estas acciones se pretende contribuir al rescate, recuperación y manejo de *A. mexicanum*.

HIPÓTESIS

Durante el proceso de crecimiento del ajolote distintas variables interactúan y tienen efecto sobre el crecimiento y desarrollo de los organismos como: la calidad del agua, la disponibilidad de alimento y la densidad de población. En el sistema acuícola del CIBAC (Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco) la calidad del agua y el alimento son variables controladas, de esta manera, si se modifica la densidad poblacional de los organismos en el sistema de cultivo, entonces esta debería ser la única variable que incidiría significativamente en el desarrollo y crecimiento de los ajolotes. A demás los huevecillos no deberán presentar alteraciones durante las 43 etapas de desarrollo embrionario que se espera encontrar y comparar con las de Bordzilovska (1979).

OBJETIVOS

Objetivo GENERAL

Evaluar el efecto de la densidad de población sobre el desarrollo y crecimiento de larvas de *Ambystoma mexicanum* en estanques circulares exteriores cultivados con agua proveniente de un humedal artificial hasta su etapa juvenil.

Objetivos PARTICULARES.

- Efectuar desoves controlados de *A. mexicanum*.
- Describir las principales etapas del desarrollo embrionario de *A. mexicanum*.
- Determinar la curva de crecimiento de *A. mexicanum* hasta la etapa de juvenil de las tres densidades.
- Comparar el crecimiento de juveniles de *A. mexicanum* cultivados en diferentes tamaños de población

MATERIALES Y MÉTODO.

Descripción del área de estudio.

Hasta 1920 los canales de Chalco y Xochimilco eran alimentados por profundos manantiales. Posteriormente el crecimiento urbano de la ciudad de México requería una mayor cantidad de agua para su manutención y el sistema acuático de Xochimilco se convirtió en uno de sus principales proveedores entubando sus manantiales, que en 1930 fueron secados casi completamente. En 1958, para evitar la disminución del nivel de los canales, se comenzaron a verter aguas tratadas de la planta del Cerro de la Estrella, lo cual ha continuado con aguas negras y grises, provocando la degradación del ecosistema y el aumento de la eutrofización del área de canales (Molina, 2010).

Xochimilco se localiza al sureste de la ciudad de México y colinda con las delegaciones Tlalpan, Coyoacán, Iztapalapa, Tláhuac y Milpa Alta. El sistema de lagos y canales forman un polígono que se localiza en la porción centro y norte de la Delegación política de Xochimilco cuyas coordenadas geográficas externas son: 19° 15' 11" y 19° 19' 15" de latitud Norte, 99° 00' 58" y 99° 07' 08" de longitud Oeste y está integrada por un polígono con una superficie de 2690 Ha. La zona colinda al Norte con la Av. Canal de Chalco, al Noroeste con Canal Nacional mientras que el Anillo Periférico Sur atraviesa la zona del Área Natural Protegida (véase **fig. 1 y 2**).

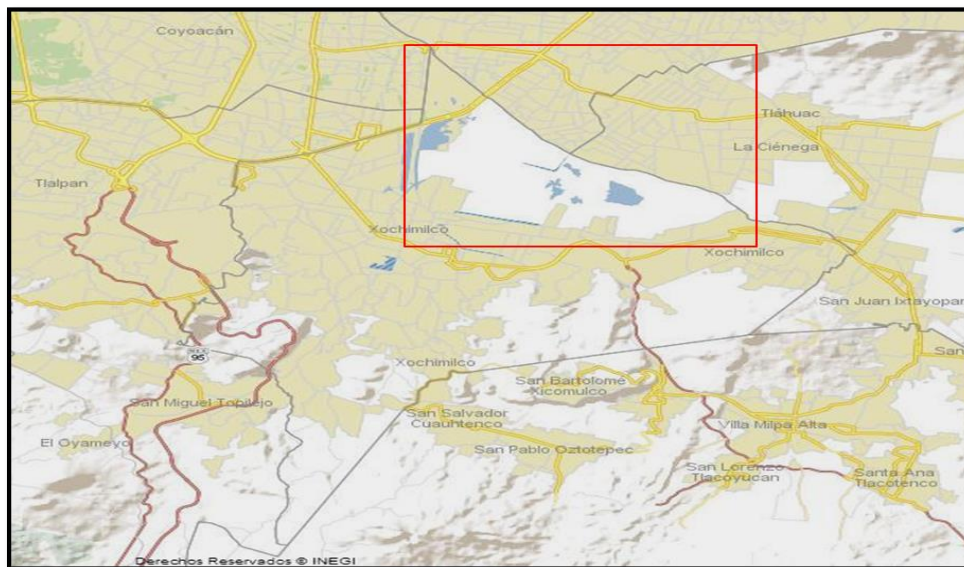


Fig. 1. Mapa de Xochimilco, se observa la zona lacustre al norte, el cruce del anillo periférico y las delegaciones con las que colinda la zona, así como el polígono del área natural protegida (recuadro) (Tomado y modificado de INEGI, 2014).

Las actividades en la zona lacustre comprenden diferentes usos entre los que se distinguen: turismo, agricultura, habitacional y de servicios (pista de canotaje, mercado, etc.). Estos usos se traducen como servicios ambientales que nos ofrece la zona. Ejemplos de servicios culturales son turismo, canotaje y el mercado; servicios de suministro son el agrícola (las chinampas) y la toma de agua de los manantiales y los servicios de regulación son la retención del agua de lluvias, y evitar inundaciones en las zonas urbanas, por tratarse de un humedal.

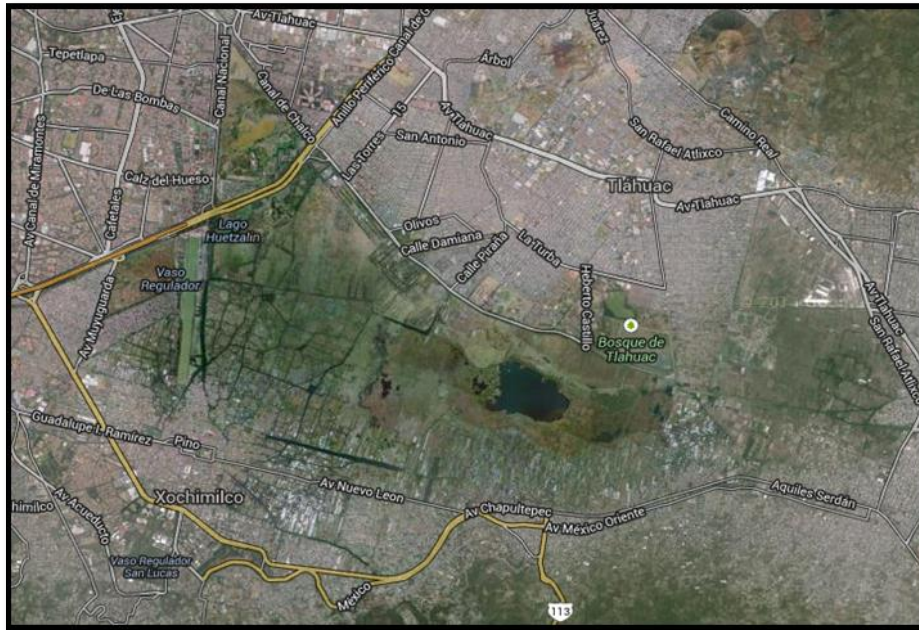


Fig. 2. Mapa digital del Área Natural Protegida de Xochimilco. (Tomado de Google Maps ©, 2016).

Hidrología.

La principal zona de captación se localiza a lo largo de la ladera norte de la Sierra Chichinautzin, en el extremo sur de la Cuenca de México (delegación Tlalpan). Debido a la intensa actividad del hombre, el sistema lacustre se encuentra reducido a canales, apantles, lagunas permanentes y de temporal (Lot *et al.*, 1979). Se estima una longitud entre 180 – 203 km de canales interconectados cuya profundidad varía de 60 cm hasta 6 m (Xolalpa-Laurel, 2009).

Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernanco (CIBAC).

Como parte de sus instalaciones, el CIBAC cuenta con 16 estanques circulares exteriores; ocho de ellos con medidas de 3 m de diámetro y de 80 cm de alto, de los cuales se utilizaron 4 estanques para el presente proyecto. Cada estanque contaba con sistema de aireación y fertilización continua del agua (bolsas con abono dentro de los estanques) para la producción de alimento vivo natural principalmente *Daphnia sp.* En el centro de cada estanque se encontraba un tubo de pvc conectado con una manguera que salía por debajo del estanque y en el otro extremo estaba enganchada a la pared del mismo; cuando se requería de recambio de agua la manguera era soltada y colocada en el canal de drenaje de manera que el agua saliera; en el extremo de las mangueras se colocaban redes de cuchara con luz de 1 mm para prevenir que en caso de que los ajolotes salieran por el tubo de pvc no se fueran por el canal. Todos los estanques se mantuvieron cubiertos con tela mosquitera color negro con el fin de evitar que agentes externos como ramas y hojas de árboles, insectos, víboras u otros animales entraran en los estanques.



Fig. 3. Ubicación del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC). Imagen tomada de Google Maps ©, 2016.



Fig. 4. Distribución de los estanques circulares dentro del CIBAC, se aprecian a la izquierda los estanques pequeños donde se realizó el experimento.



Fig. 5. Se observa el estanque circular exterior de densidad baja cubierto con tela mosquitero negra, todos los estanques del experimento se encontraban cubiertos de la misma manera.

Progenitores y distribución de las densidades de los huevecillos.

Para el experimento se utilizaron dos poblaciones diferentes de progenitores los cuales dieron lugar a los organismos empleados en el estudio. La primera población constituida por 8 parejas con valores de peso húmedo de 93.6 ± 13.2 g y Longitud Total de 22.4 ± 0.8 cm fueron organismos adultos criados bajo condiciones controladas de laboratorio. De ellos se obtuvo un total de 1330 huevecillos desovados en el mes de enero; estos huevecillos fueron distribuidos en tres diferentes densidades (Cuadro 1): Densidad baja (D1), Media (D2) y Alta (D3) y se colocaron en tres estanques con volumen de agua de 6 m^3 (Figura 6).

Cuadro 1. Distribución del número de huevecillos de *A. mexicanum* en las densidades ensayadas.

DENSIDAD	n
BAJA (D1)	180
MEDIA (D2)	400
ALTA (D3)	750

La segunda población (n=16), estuvo formada por ajolotes adultos criados en estanques circulares a cielo abierto con alimento vivo natural y adición suplementaria de *Tubifex*, presentaron valores de peso húmedo de 82.4 ± 30.7 g y longitud total de 21.0 ± 2.7 cm. De éstos se obtuvo un desove en el mes de diciembre de 450 huevecillos que fueron colocados en un estanque de 6 m^3 ; este desove se consideró comparable con el de densidad media obtenido en el mes de enero (Fig. 6).

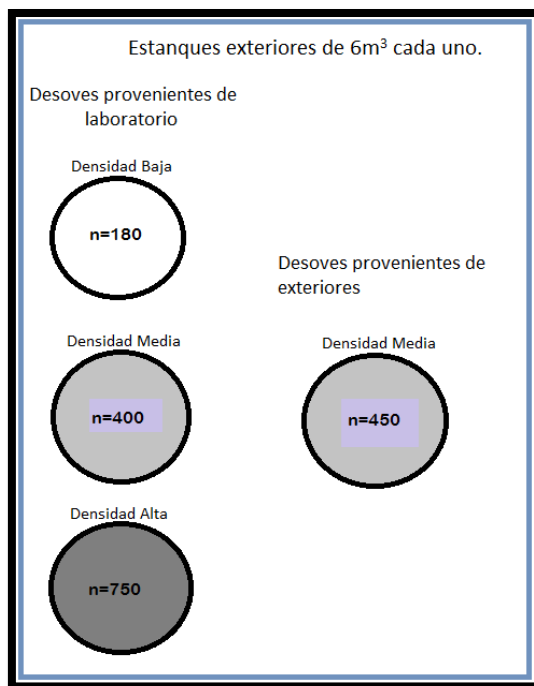


Fig. 6. Esquema de la distribución y origen de los huevecillos colocados en los estanques exteriores.

Una vez que eclosionaron los huevecillos, las larvas fueron alimentadas a saciedad con pulga de agua (*Daphnia sp*) y *Tubifex sp*, dicho alimento fue distribuido de forma homogénea dentro del estanque.

Biometrías

Se realizaron siete biometrías a lo largo de tres meses para cada desove, una cada 15 días. Las biometrías finalizaron una vez que los organismos alcanzaron un promedio de longitud total (LT) de 10 cm, (talla que se considera apropiada para su liberación en el lago de San Gregorio Atlapulco (F. Arana. com. pers.)). La extracción de los ajolotes fue manual, utilizando redes para acuario (**Fig. 7 y 8**).



Fig. 7. Ajolote colectado del tratamiento “Densidad Baja”.



Fig.8. Proceso de recolecta de los ajolotes, para la captura se utilizaron redes para acuario.

Las biometrías consistieron en obtener los valores de Peso Húmedo (PH) en gramos y la Longitud Total (LT) en centímetros, para lo cual se utilizó una balanza digital Scout Pro modelo SP202 (200 g de capacidad, ± 0.01 g) e ictiómetros (hechos con tubo de pvc cortado a la mitad por lo largo, con cinta métrica adherida en el centro ± 0.05 cm).

La toma de muestras fue aleatoria y dependiendo del valor de densidad del ensayo, en los estanques varió el número de organismos por muestra. En D1 la muestra fue de $n=30$, mientras que en D2 y D3 la muestra fue de $n=40$. Para la colecta se utilizaron redes manuales para acuario de malla gruesa de 6 y 7 pulgadas; previamente se tenían cubetas con agua de los estanques, y una vez capturados los organismos fueron colocados en ellas.



Fig.9. Pesaje del ajolote con balanza digital en el laboratorio del CIBAC. Organismo proveniente del tratamiento de densidad baja.



Fig. 10. Medición de los organismos. Ajolote del tratamiento “Densidad Alta” del desove de enero en el ictiómetro de pvc y cinta métrica.

Una vez obtenidas las muestras, se les llevó al laboratorio del CIBAC en donde se pesaron y midieron; al terminar las mediciones, los ajolotes se regresaron a los estanques de donde provenían.

Índice de supervivencia.

Al término del experimento se realizó un censo de todos los organismos supervivientes y se calculó la supervivencia de acuerdo con Poot-López *et al.* (2012) de la siguiente forma:

$$\text{Supervivencia (\%)} = 100 (\text{número final} \div \text{número inicial})$$

Descripción del desarrollo embrionario.

Once muestras de huevecillos del desove de diciembre se tomaron entre la puesta y el avivamiento de las crías y fueron fijadas en formol al 5% amortiguado con “buffer” de fosfatos (pH 7.2). El análisis del desarrollo embrionario se llevó a cabo en dos etapas.

a) Análisis de las muestras.

Las muestras se organizaron y clasificaron de acuerdo a la fecha de recolección y se observaron empleando un microscopio estereoscópico (Cole Parmer, 20X) en el laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Ciencias, UNAM, con la finalidad de reconocer y describir las características propias de cada etapa del desarrollo embrionario y compararlas con las etapas propuestas por Bordzilovska (1979).

b) Toma de fotografías digitales.

Una vez que las muestras fueron clasificadas según las etapas de desarrollo embrionario, éstas se trasladaron al laboratorio de Microcine, Facultad de Ciencias, UNAM, para la toma de fotografías digitales. Previo a la toma de las fotografías, cada huevecillo fue lavado con agua destilada para retirar el formol superficial y colocado en un acuario de vidrio delgado (4 mm) de 15 cm x 15 cm x 2.5 cm llenado hasta cubrir el huevecillo con agua destilada. Se colocaron pelotas de ping pong blancas cortadas por la mitad dentro de los acuarios para controlar la distribución de la luz sobre los huevecillos. Una vez enfocadas las características principales de las etapas del desarrollo en que se encontraban los huevecillos, se fotografiaron las muestras con una cámara digital marca Canon.

Análisis de calidad del agua.

A lo largo de la fase experimental se midieron los siguientes parámetros físico-químicos de calidad del agua de los estanques de crecimiento: Oxígeno disuelto, temperatura, pH, sólidos totales (ST), conductividad y NH_4 . Para la medición de Oxígeno disuelto y temperatura se utilizó un oxímetro YSI 51B ($\pm 0.05 \text{ mg O}_2$ y 0.1°C). La medición de pH, ST y conductividad, se realizó empleando un multianalizador manual HANNA 1220; el NH_4 se midió utilizando un equipo HACH[®] modelo DR/870 $\pm 1\text{nm}$.

Análisis estadístico.

Los paquetes estadísticos que se emplearon fueron SPSS v.20 y JMP v.10. Para los valores de calidad del agua se utilizó un ANOVA univariado, para la evaluación del crecimiento valorado como aumento de peso húmedo y longitud total se realizó una ANOVA de mediciones repetidas, comparando las distintas densidades ensayadas y puntualizando las diferencias significativas con prueba "post hoc" de Tukey ($p = 0.05$). Las curvas de crecimiento de cada variable (LT y PH) de los desoves de enero y diciembre se describieron por medio de diagramas de caja en paralelo. Se realizó un análisis comparativo de distribución normal para las frecuencias de tallas y pesos del desove de enero, empleando la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($p = 0.05$).

RESULTADOS.

Desarrollo embrionario.

En la primer colecta de huevecillos que se realizó dos días después de la eclosión, los huevecillos se observaron rodeados de vitelo y con las primeras invaginaciones características de las etapas 7 y 8. (Fig. 11. A y B). La segunda colecta se realizó al quinto día después de la eclosión y los huevecillos presentaron invaginaciones más pronunciadas (Fig. 12. A y B) en comparación con los del día dos, lo que indica el avance hacia las etapas 11 y 12.

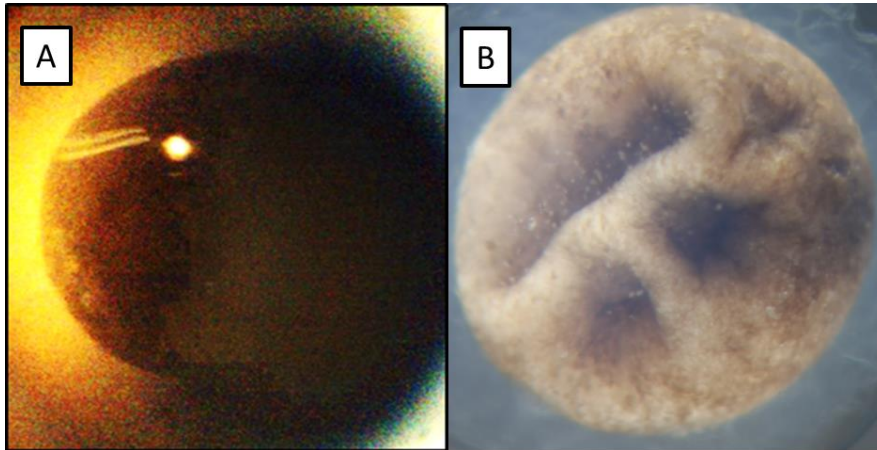


Fig. 11. Huevecillo rodeado por vitelo. Embrión entre etapas 7 y 8. (A) Vista superior. (B) vista lateral, inicia la primera invaginación en el embrión.

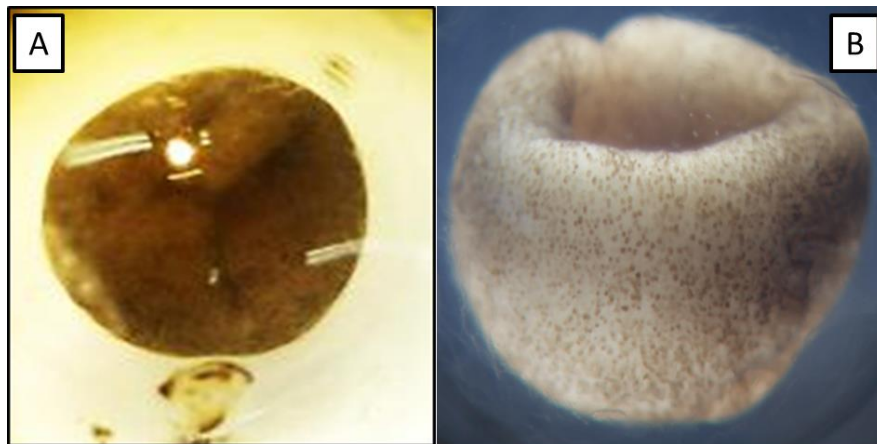


Fig. 12. Huevecillo rodeado por vitelo y crece el hundimiento de la primera invaginación. Embrión entre etapas 11 y 12 (A) Vista superior. (B) fotografía digital, vista lateral.

El día nueve después de la eclosión se realizó la tercer colecta, los embriones de estos huevecillos ya tienen diferenciadas las partes anterior y posterior del cuerpo y se observan los primordios branquiales que han iniciado su desarrollo e indican que el embrión se encuentra en las etapas 30 a 33 (Fig. 13, A y B).

En los embriones colectados en el día diez se observaron hendiduras que indican la posición en dónde se formarán los ojos, los embriones se encuentran en etapas 31 a 33. (Fig. 14, A y B).

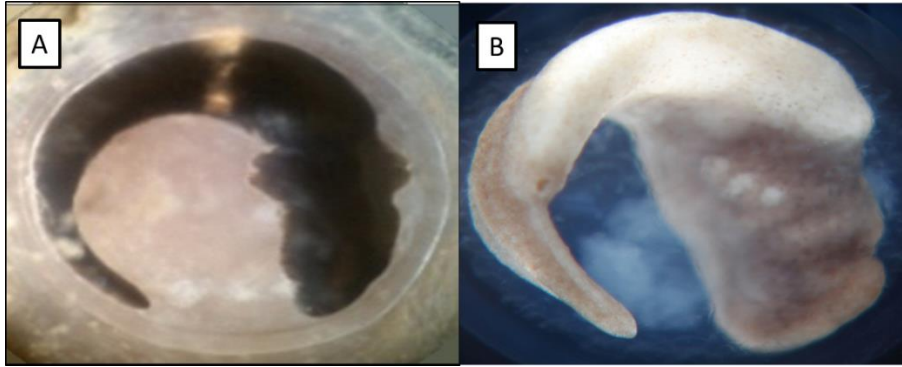


Fig. 13. Se desarrollan 3 primordios branquiales: Embrión entre etapas 30-33 (Bordzilovska, 1979). (A) Vista superior. (B) Vista lateral.



Fig. 14. Día 10. En el área encefálica se observan los surcos branquiales y la presencia de hendiduras que indican la posición de los ojos; El embrión se encuentra entre etapas 31 y 33 (Bordzilovska, 1979) (A) Vista ventral. (B) Vista superior.

La siguiente muestra se tomó 12 días después de la eclosión, los embriones tenían ya desarrollados los nódulos que formarían las branquias, y se encontraban entre las etapas 32 y 34. (Fig. 15, A y B).

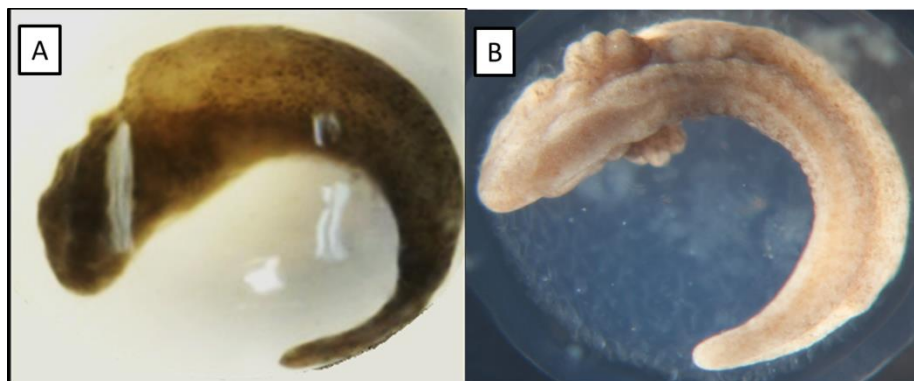


Fig. 15. Se observan los nódulos externos que formarán las branquias. El embrión se encuentra entre etapas 32- 34 (Bordzilovska, 1979). (A) Vista ventral. (B) Vista superior.

Después de 15 días de la eclosión, los embriones muestran desarrollados los filamentos branquiales, se pueden distinguir tres filamentos a cada lado de la cabeza que también está más desarrollada. (Fig.16, A y B) el embrión se encuentra en la etapa 39.



Fig. 16. Día 15. Se observa el crecimiento de los primeros filamentos branquiales. Etapa 39 (Bordzilovska, 1979).

La siguiente muestra fue tomada 19 días después de la eclosión y la principal diferencia con la muestra anterior es la aparición de la boca mientras que los filamentos branquiales aumentaron de longitud. Los embriones se encontraban en la etapa 39. (Fig. 17. A y B).



Fig. 17. Las branquias aumentan su longitud y se distinguen los primeros indicios de la boca. Etapa 39 (Bordzilovska, 1979).

A los 20 días aumentó el número de filamentos branquiales distinguiéndose 3 en la primera y 4 en la segunda, el embrión se encontraba en etapa 40 (Fig. 18. A y B).

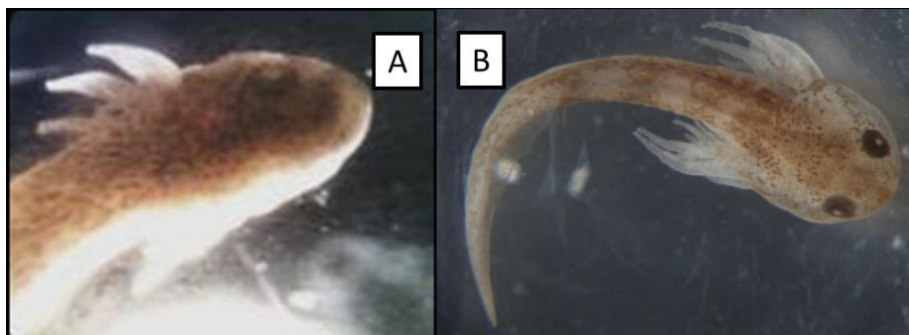


Fig. 18. El número de filamentos branquiales aumenta, 3 en la primera branquia y 4 en la segunda. Etapa 40.

La última muestra se tomó 22 días después de la eclosión. La boca estaba totalmente delineada y los ojos más desarrollados, aparecieron los brotes de las extremidades y aumentó el número de filamentos branquiales, 4 en la primera branquia y 5 en la segunda y tercera, el embrión se encontraba entre las etapa 40 y 41.



Fig. 19. Día 22. Se desarrollan los brotes de las extremidades anteriores y la boca se observa delineada. Aumenta el número de filamentos branquiales, 4 filamentos en la primera branquia, 5 filamentos en la segunda y la tercera, los ojos están más desarrollados y aumentan de tamaño. Etapa 40-41 (Bordzilovska, 1979).

A partir de los datos de temperatura promedio/día se obtuvo que es necesario un periodo de 22 días y 302°C/día acumulados (ver Fig. 20) para que los embriones de *A. mexicanum* se desarrollen hasta la etapa 41 (Bordzilovska, 1979).

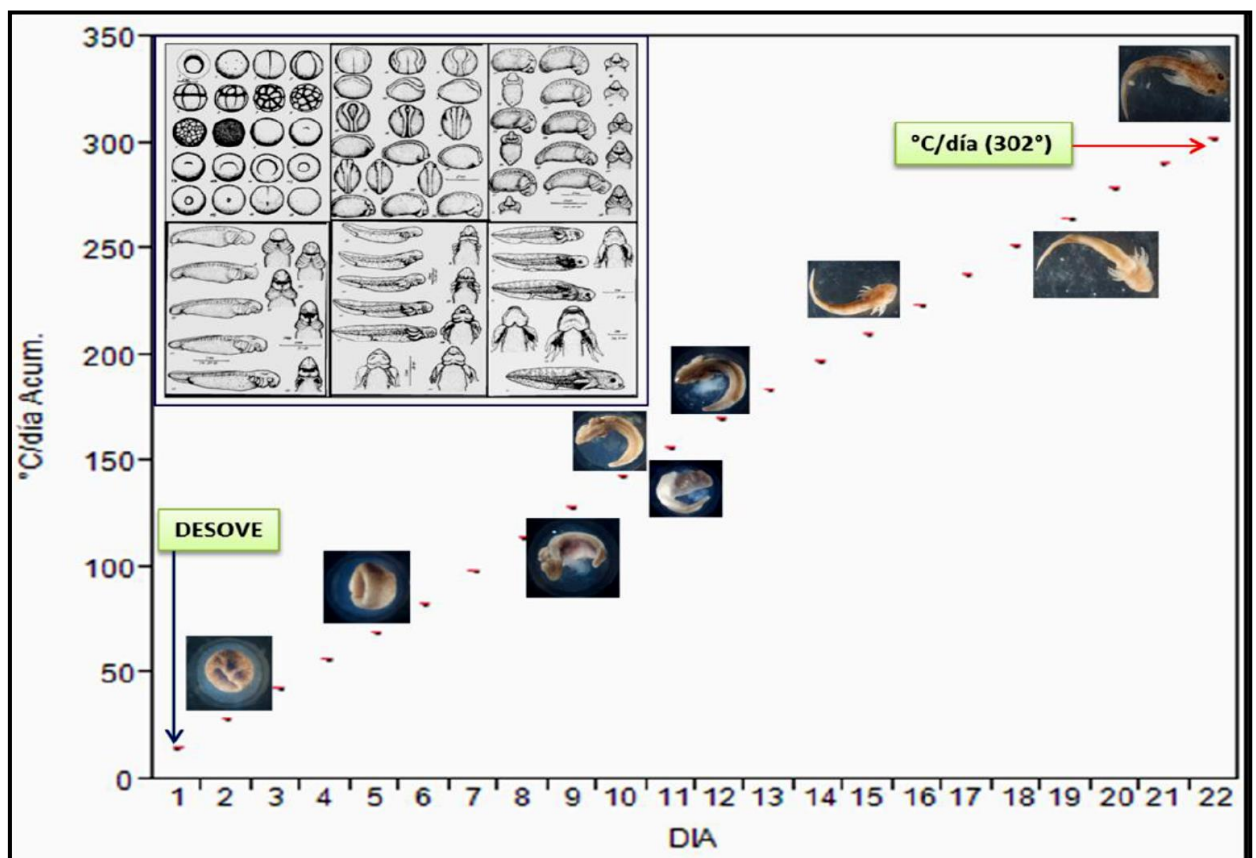


Fig. 20. Relación del desarrollo embrionario de *A. mexicanum* y °C/día acumulados. En el recuadro superior izquierdo, se indican los estadios de desarrollo de acuerdo a Bordzilovska, (1979).

Calidad del agua

En el cuadro 2 se muestra el registro de las medias para todos los factores físico-químicos de los 3 estanques. Las pruebas de ANOVA entre tratamientos para los diversos factores medidos, señalaron que no hubo diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$). Ramírez-Carrillo *et al* (2009) presentaron en su investigación sobre “Agua de buena calidad para acuicultura proveniente de un humedal artificial”, una comparación de sus resultados con tres normas internacionales, en el presente trabajo se comparan los resultados obtenidos con los datos de la publicación de Ramírez-Carrillo *et al.* (2009).

Cuadro 2. Parámetros de calidad del agua medidos durante la etapa de crecimiento de *A. mexicanum*, a tres densidades.

FACTOR	MEDIA \pm DS
T °C	18.1 \pm 0.5
Conductividad (μ S)	853.5 \pm 67.6
ST (ppm)	426.7 \pm 34.1
O ₂ (mg/L)	6.3 \pm 0.9
pH	8.9 \pm 0.3
NH ₄ (mg/L)	0.4 \pm 0.2

Los datos del cuadro 3 indican que el agua utilizada en los estanques se puede considerar como agua de buena calidad para la acuicultura pues cumple con los criterios sugeridos por la comunidad económica Europea y por Estados Unidos. Así mismo, los valores se encuentran dentro los límites que obtuvieron Ramírez Carrillo *et al.*, (2009). De la conductividad y de los sólidos totales no se tuvieron registros de otros autores para comparar.

Cuadro 3. Comparación de los parámetros físico-químicos obtenidos en los 3 estanques con los resultados obtenidos por Ramírez Carillo *et al.*, (2009) diversas Normas Internacionales.

Parámetros Físico-químicos medidos en la presente investigación	Parámetros de calidad del agua medidos en <i>A. mexicanum</i> CIBAC.	Datos obtenidos por Ramírez Carrillo <i>et al.</i> “Salida del Humedal Artificial”.	Directiva 78/659/CEE relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección para ser aptas para la vida de los peces (Comun. Econ. Europea).	Recomendación Nacional Actual sobre Criterios de Calidad del Agua. Descarga en lagos para la protección de vida acuática. Región XIII, EUA)
	MEDIA \pm DS			
Conductividad (μ S)	853.5 \pm 67.6			
ST (ppm)	426.7 \pm 34.1			
O ₂ (mg/L)	6.3 \pm 0.9	3.12(2.4-3.5)	>1	6.5-9
pH	8.9 \pm 0.3	8.3(7.9-8.8)	6-9	
NH ₄ (mg/L)	0.4 \pm 0.2	0.56(0.1-1.1)	<1	<0.5
T°C	18.1 \pm 0.5			

Análisis y comparación de Biometrías para ambos desoves.

Las biometrías permitieron analizar el crecimiento tanto en peso húmedo como en longitud total de los ajolotes y el porcentaje de supervivencia para los 3 tratamientos; los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Desove de diciembre.

En el desove de diciembre obtuvimos organismos cuyo aumento de peso se presentó de manera significativa a partir del tiempo 3 y se mantuvo hasta el tiempo 6. Respecto a los resultados de longitud total obtuvimos aumento significativo del tiempo 1 al 6. Sin embargo, del tiempo 6 al 7 el incremento de la longitud no fue estadísticamente significativo.

Para estos datos realizamos diagramas de caja que muestran las curvas de crecimiento para ambas variables representando la media y la desviación estándar a lo largo de los 7 lapsos de medición (Fig. 21).

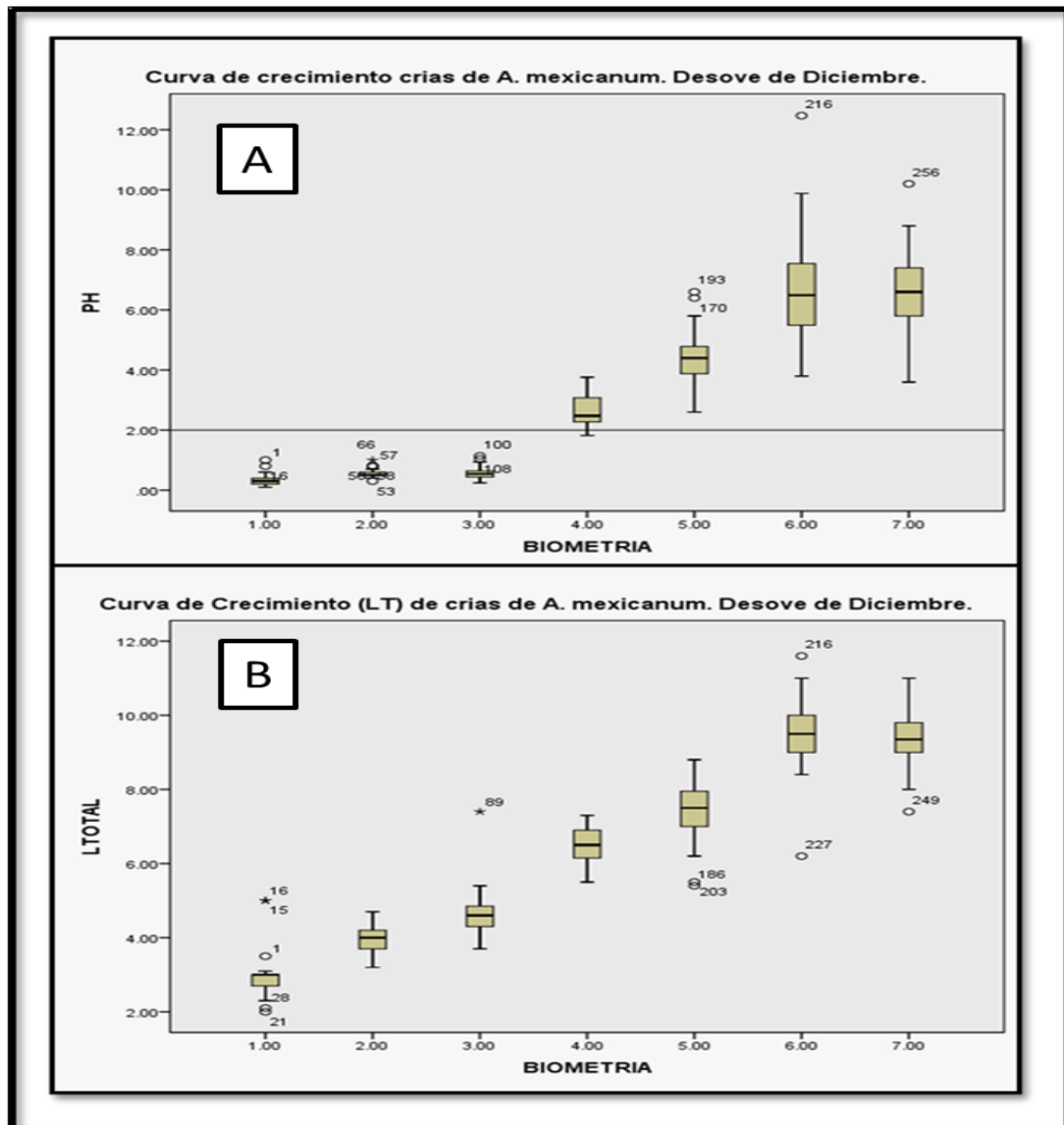


Fig. 21. Diagrama de caja. (A) Curvas de crecimiento de peso húmedo (PH), (B) Curvas de crecimiento de longitud total (LT) del desove de diciembre.

La figura 21 muestra dos diagramas de caja; (A) que indica la curva de crecimiento de PH muestra que del tiempo 1 al 3 el peso húmedo de los organismos no varía significativamente entre ellos, y a partir del tiempo 4 al 6 aumenta el valor de PH mostrando diferencia significativa; y del tiempo 6 al 7 el PH se mantiene similar justo como ocurre en la prueba de ANOVA. (B) muestra la curva de crecimiento de LT en la que se observa que del tiempo 1 al tiempo 6 hay un aumento significativo entre cada tiempo, y del tiempo 6 al 7 la longitud de los organismos tendió a estabilizarse.

En el cuadro 4, se presentan los resultados de crecimiento en PH y LT en las distintas biometrías efectuadas, la prueba de ANOVA de una vía señala que la media más alta del PH se obtuvo en el tiempo 7 con valor de 6.6 g; respecto a la media más alta de LT el valor más alto pertenece al tiempo 6 con valor de 9.50 cm a diferencia de lo esperado que sería en el tiempo 7, no obstante el ANOVA agrupa juntos al tiempo 6 y 7 tanto de PH como de LT indicando que no hay diferencia significativa entre ellos.

Cuadro 4. Crecimiento de *A. mexicanum*, desove de diciembre. Peso Húmedo y Longitud Total.

Tratamiento D2. Desove de diciembre								
Muestreo	PH(g)		LT (cm)		Error estándar		Grupos <i>post hoc</i>	
	Mediana	Máx.	Mediana	Máx.	PH	LT	PH	LT
1	0.3	1	3	5	0.14	0.09	D	F
2	0.5	1	4	4.7	0.14	0.09	D	E
3	0.54	1.14	4.6	7.4	0.13	0.09	D	D
4	2.475	3.76	6.5	7.3	0.14	0.09	C	C
5	4.4	6.6	7.5	8.8	0.13	0.09	B	B
6	6.49	12.47	9.5	11.6	0.14	0.09	A	A
7	6.6	10.2	9.35	11	0.16	0.01	A	A

Prueba de Tukey, $p=0.05$. Los grupos *post hoc* con distinta letra denotan diferencias significativas.

Desove de enero.

La distribución del desove de enero permitió analizar los efectos de la densidad en el crecimiento y supervivencia de los organismos.

Dentro de los resultados obtenidos con la prueba de ANOVA de mediciones repetidas, los resultados más relevantes son las medias con los valores más altos de cada densidad.

- En el caso de D1 se obtuvo el valor más alto de PH en el tiempo D17 (Densidad 1, biometría 7) que fue de 12.41 gr; y del LT en el tiempo D15 (Densidad 1, biometría 5) con valor de 11.45 cm.
- -En el caso de D2 el valor más alto de PH pertenece al tiempo D27 (Densidad 2, biometría 7) con valor de 7.1 gr; y de LT en el tiempo D27 (Densidad 2, biometría 7) con valor de 9.15 cm.
- -En el caso de D3 el valor más alto de PH es de D37 (Densidad 3, biometría 7) con valor de 4.72 gr; y de LT en el tiempo D37 (Densidad 3, biometría 7) con valor de 11 cm.

Los datos siguientes revelan que de los tres tratamientos, en de Densidad Baja (D1) se presenta el mayor aumento de PH y LT.

Cuadro 5. Crecimiento de *A. mexicanum* del desove de enero. Datos de PH (g) y LT (cm) de las tres densidades.

Biometría	CUANTILES							
	PH		LT		PH	PH	LT	LT
	Mediana	Máxima	Mediana	Máxima	Media	ES	Media	ES
D 11	0.19	0.39	2.70	3.20	0.19	0.242	2.64	0.13
D 12	1.79	2.65	5.85	7.60	1.76	0.253	5.65	0.13
D 13	5.19	7.63	8.20	9.40	5.40	0.257	8.33	0.14
D 14	8.90	12.74	8.90	10.00	9.09	0.262	8.80	0.14
D 15	11.90	14.50	11.45	12.60	11.72	0.226	11.33	0.12
D 16	9.70	15.80	10.50	15.00	9.90	0.224	10.80	0.12
D 17	12.41	19.09	11.40	13.40	12.61	0.262	11.42	0.14
D 21	0.32	0.54	2.85	3.20	0.27	0.262	2.70	0.14
D 22	1.25	1.80	5.25	5.70	1.31	0.220	5.20	0.12
D 23	3.52	4.90	7.30	8.90	3.56	0.224	7.22	0.12
D 24	4.91	6.24	8.00	8.80	4.88	0.226	7.90	0.12
D 25	5.10	8.50	8.30	9.10	5.14	0.226	8.17	0.12
D 26	5.97	8.70	9.00	10.10	6.09	0.224	8.92	0.12
D 27	7.10	10.2	9.15	10.70	7.03	0.226	9.06	0.12
D 31	0.11	0.18	2.20	2.50	0.11	0.262	2.17	0.14
D 32	0.50	0.90	3.30	4.00	0.47	0.224	3.33	0.12
D 33	1.30	2.20	5.00	6.80	1.31	0.226	5.09	0.12
D 34	1.90	3.40	6.00	7.00	1.94	0.224	5.89	0.12
D 35	2.65	9.00	6.80	9.80	2.89	0.226	6.81	0.12
D 36	4.305	16.16	7.50	12.20	4.80	0.221	7.56	0.12
D 37	4.72	14.14	8.30	11.00	5.49	0.226	8.29	0.12

Tratamientos: Densidades D1, D2 y D3 (baja, media y alta respectivamente). Biometrías 1 a 7. ES = error estándar. Sombreado registros de PH y LT al término de la fase experimental.

La **Fig. 22** muestra dos diagramas de caja y bigote; (A) es una comparación de las curvas de crecimiento de PH de las tres densidades a lo largo de las siete biometrías. (B) compara las curvas de crecimiento de LT de las tres densidades a lo largo de las siete biometrías. En ambos diagramas se observa que el tratamiento de Densidad Baja (DB) es el que presenta las medias más altas, mientras que el tratamiento de Densidad Alta (DA) tiene los más bajos valores de las medias.

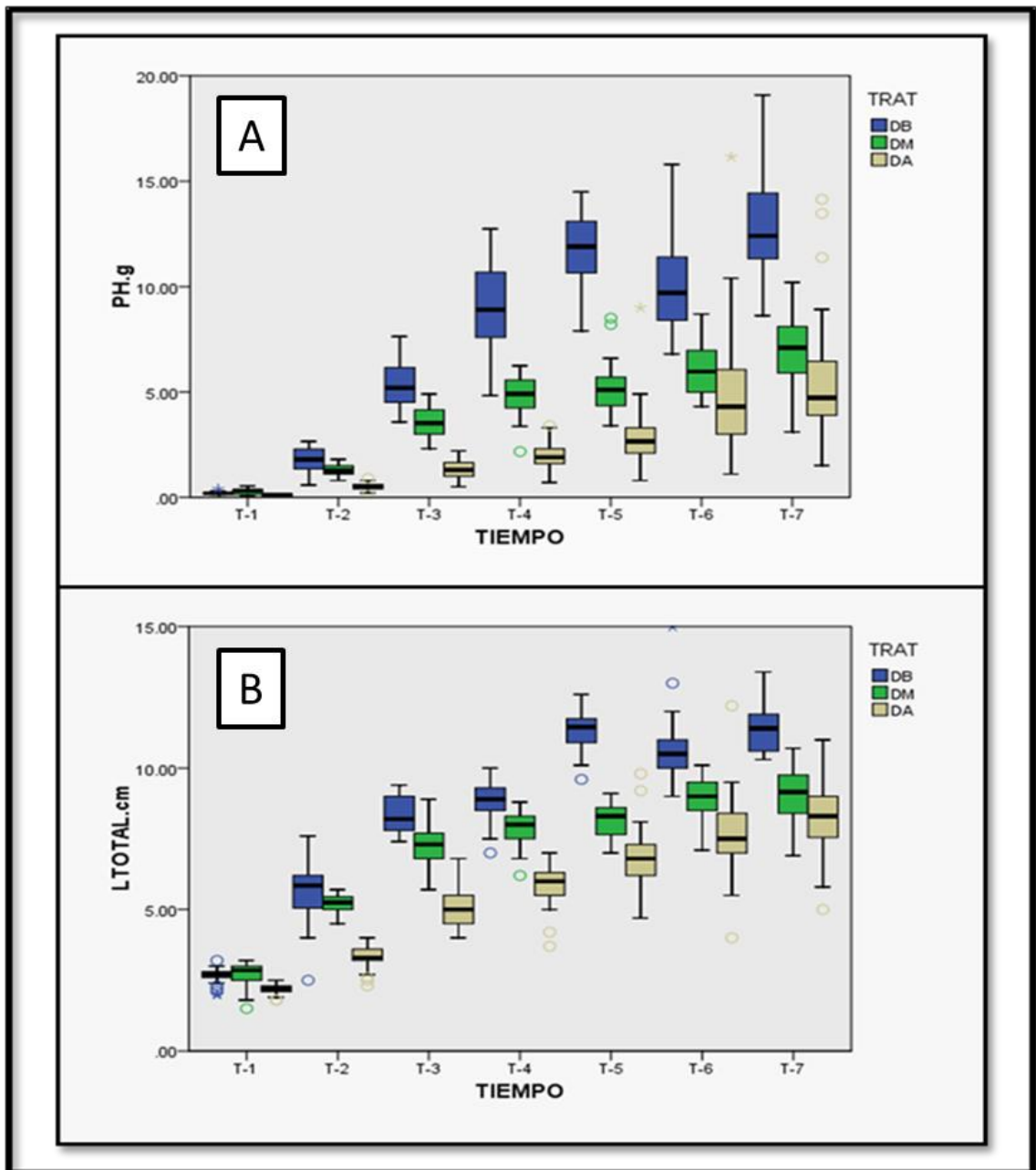


Fig. 22. Diagramas de caja del desove de enero. (A y B) curvas de crecimiento de PH y LT respectivamente.

Análisis de Distribución de tallas y pesos del desove de enero.

La **Fig. 23** muestra los histogramas obtenidos con los datos de peso húmedo (23 A) y longitud total (23 B) para cada tratamiento. Se realizó una prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$), para evaluar el ajuste de normalidad de las distribuciones de PH y LT, los resultados señalaron que en todos los casos se rechaza la hipótesis de nulidad, debido a la asimetría de las distribuciones de pesos y tallas.

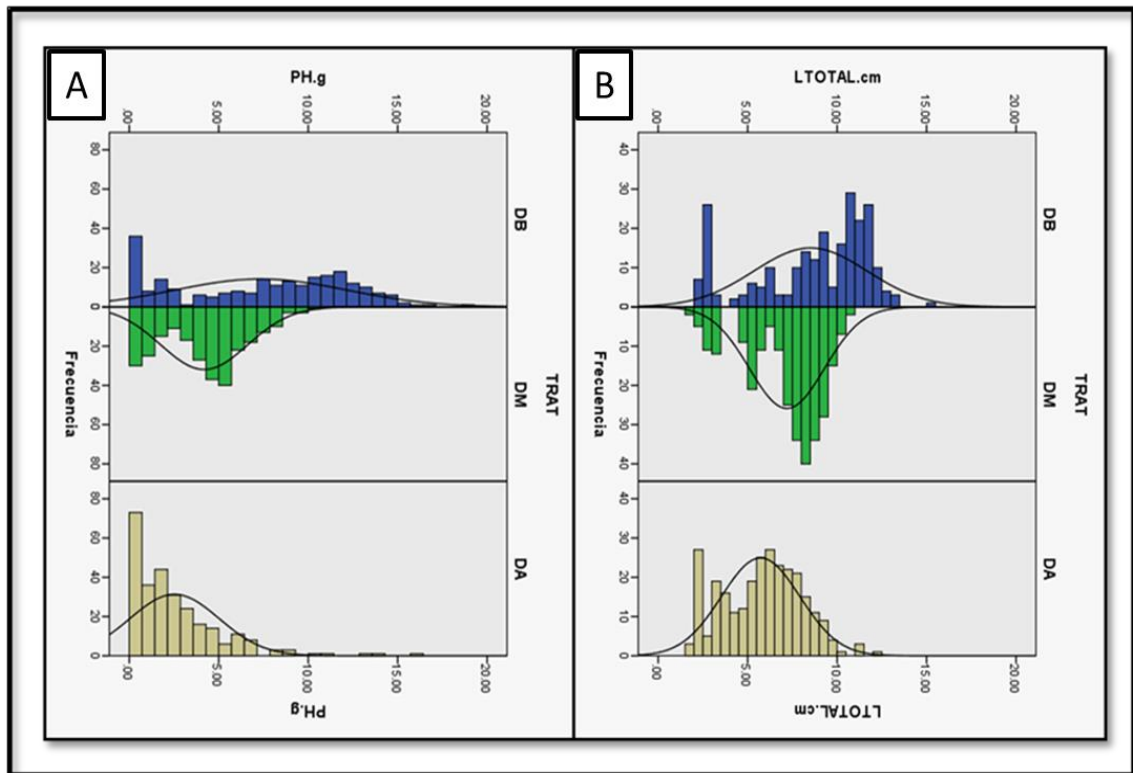


Fig. 23. Histogramas de PH (A) y LT (B) de *A. mexicanum* del desove de enero, para las tres densidades ensayadas: DB, DM y DA (Baja, media y alta respectivamente).

No obstante, en todos los tratamientos se formaron dos grupos. En el caso del tratamiento DB se observa una tendencia hacia pesos pequeños y organismos de gran talla. En el histograma de DM el grupo más grande tiene organismos en valores de peso de medio a alto. En el caso del tratamiento DA la gráfica muestra que el mayor grupo se encuentra en los valores de menor peso, de los tres tratamientos DM resultó ser el más homogéneo en ambos indicadores.

Análisis de supervivencia.

Desove de enero.

Al terminar la fase experimental la supervivencia fue de 68.8% en la densidad baja, y 46% en densidad media y alta.

Cuadro 6. Supervivencia de *A. mexicanum* en las tres densidades ensayadas.

TRATAMIENTO	Supervivencia, %
DB	68.8
DM	46.0
DA	46.0

VIII. DISCUSIÓN

Desarrollo Embrionario

Los huevecillos del ajolote al ser transparentes permiten observar las etapas del desarrollo embrionario, que en este caso concuerdan con las descritas por Bordzilovska (1979), en cuyo modelo los embriones cultivados a 29°C eclosionaron en 14 días; mientras que los organismos de esta prueba experimental necesitaron un periodo de 22 días y 302°C/día acumulados para llegar hasta la etapa 41 (Bordzilovska, 1979). Se conoce que en anfibios la temperatura tiene efecto en la aceleración del desarrollo embrionario, influye en el tamaño corporal y en el tiempo de eclosión (Voss, 1993), las puestas a mayor temperatura eclosionan primero en comparación a las de temperaturas más bajas (Voss, 1993). Por ello el tiempo de eclosión de los organismos usados es diferente en comparación con el de Bordzilovska. Para fines de cultivo es preferible que el desarrollo sea rápido. Sin embargo, aun cuando el tiempo de eclosión es diferente, se pueden apreciar las mismas etapas descritas por Bordzilovska.

En el momento de la eclosión los embriones liberan enzimas para liberarse de la cubierta gelatinosa y es aquí uno de los momentos en donde la temperatura alta tiene efecto ya que altera la velocidad de la cinética enzimática y la eclosión ocurre más rápidamente (menos de 46 horas). Asimismo, a altas temperaturas las crías emergen con menor tamaño corporal en comparación con aquellas que eclosionan a menores temperaturas (Voss, 1993). En el presente estudio se buscó disminuir la mortalidad y depredación de las crías, pero la temperatura no se alteró de manera intencional, sino que se mantuvo sometida a los cambios de la temperatura ambiental que en promedio fue de 18.1°C. En condiciones naturales, el tamaño es de suma importancia ya que las larvas pequeñas son más susceptibles a ser depredadas (Anderson *et al.* 1971). Sin embargo, estas al tener acceso a los recursos disponibles antes que las crías que aún no eclosionan, pueden aumentar rápidamente su tamaño, convertirse en jerarcas y alimentarse de las crías que eclosionan después, disminuyendo así la competencia y ocasionando un cambio en la densidad de la población. Por ello es importante hacer la separación de los organismos más grandes y disminuir el canibalismo.

Calidad del agua

El agua que se utilizó para los estanques provenía del humedal artificial del CIBAC, los valores promedio a los que se encontraban los organismos de los 3 tratamientos fueron de: 18.1°C, conductividad de 853.5 µS, ST 426.7 ppm, O₂ 6.3 mg/l, pH 8.9 y NH₄ 0.4mg/l, ninguno de los factores presentó diferencia significativa entre los tratamientos. Todos los valores se mantuvieron dentro de los rangos recomendados por la Directiva 78/659/CEE relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección para ser aptas para la vida de los peces y por la Recomendación Nacional Actual sobre Criterios de Calidad del Agua. Además se encuentran dentro de los límites que obtuvieron Ramírez-Carrillo *et al.* (2009) de manera que el agua que se utilizó en los estanques se puede considerar adecuada para la producción de *A. mexicanum*.

Desove de diciembre

Los huevecillos del desove de diciembre se obtuvieron de los progenitores criados en estanques exteriores, este desove fue el primero que se obtuvo, en comparación con el desove de enero, se consideró como densidad media.

El diagrama de caja que se realizó (Fig. 21) muestra la curva de crecimiento tanto de PH como de LT. En cuanto a PH a partir del tiempo 4 se inicia un incremento significativo que dura hasta el final del experimento. De los tiempo 1 a 3 el peso no fue estadísticamente diferente entre ellos lo cual se muestra tanto con el diagrama de caja como con la prueba de ANOVA, esto sugiere que los animales no se estaban alimentando lo suficiente, es probable que se debiera al tipo de alimento disponible, como se mencionó anteriormente, no se realizó un análisis de zooplancton, y si no existían los organismos comunes de la dieta del ajolote, estos no se alimentaron de manera eficiente hasta que el tamaño de sus bocas alcanzó la proporción adecuada para alimentarse del *Tubifex sp.*

La curva de crecimiento (Fig. 21) muestra que la LT de los organismos cambió significativamente desde el tiempo 1 al 6 y del 6 al 7 se detuvo, la prueba de ANOVA arrojó los mismos resultados. Tanto el PH como para LT se estabilizaron en los tiempos 6 y 7.

Densidad poblacional

Diversos estudios han demostrado que las larvas de ajolote interactúan entre ellas durante el periodo de crecimiento, y que estas interacciones tienen efecto en la velocidad de crecimiento y porcentaje de supervivencia.

Desde que los huevos eclosionan se inicia una fuerte la competencia intraespecífica por el alimento, el espacio y otros recursos que los organismos necesitan para sobrevivir, si la competencia es alta en ocasiones pueden provocar caídas bruscas del tamaño poblacional (Curtis, 2008). Sin embargo, la población puede llegar a equilibrarse, ya que la misma competencia ya sea intra o interespecífica junto con perturbaciones físicas del ambiente reducen la densidad y minimizan con el tiempo la competencia (Bertness, 1989).

El hecho de que en general los anfibios depositan un gran número de huevos, sugiere que tienen una alta mortalidad en los estadios larvales (Herreid y Kinney, 1966). Para las larvas de *A. mexicanum* el momento de la eclosión define las posibles ventajas o desventajas que éstas presentarán durante sus primeras etapas de vida para sobrevivir. Las larvas que eclosionan primero tienen menor tamaño y esto las vuelve vulnerables a depredadores e incluso ante otras larvas de ajolote, sin embargo, al eclosionar primero tienen menor competencia por alimento y mayor acceso a otros recursos, lo que les da la posibilidad de aumentar su tamaño obteniendo ventaja sobre las larvas que eclosionaran después, e incluso pueden llegar a alimentarse de estas (Boone et al., 2002).

A. mexicanum presenta conducta caníbal, este comportamiento tienen efecto directo en el índice de supervivencia y tamaño poblacional. Durante las biometrías se capturaron ajolotes con heridas graves, lo que indicó la presencia de este comportamiento caníbal. Bajo condiciones de cultivo acuícola, disminuir el canibalismo es uno de las principales necesidades, por ello, para reducir el riesgo de depredación es vital la presencia de refugios (Lagrifa, 2002).

Ya que la alta competencia genera consecuencias perjudiciales para la sobrevivencia de una población, se puede pensar que en un cultivo, las densidades más bajas son las más favorables, sin embargo, hay casos como en el cultivo de bagre africano *Clarias gariepinus*, (Llanes y Toledo, 2012) que muestran no haber diferencia significativa en los indicadores de crecimiento entre una densidad baja y una alta, lo cual les permitió incrementar la productividad por área de cultivo.

Existen diversos estudios sobre la tasa de crecimiento en distintas especies de anfibios y peces, que han sido sometidas a diferentes condiciones de cultivo; pero al comparar los resultados de estas investigaciones es difícil reportar un estándar de la tasa de crecimiento ya que las condiciones ambientales son muy variadas, además de que cada especie muestra respuestas diferentes, tal es el caso de *Orconectes virilis* en él se obtuvo mayor crecimiento en poblaciones densas, mientras que en la especie *Cherax tenuimanus* ocurre lo contrario (Moctezuma-Malagon, 1996).

Los índices de crecimiento del desove de enero muestran qué en el tratamiento de densidad baja, en el último tiempo se obtiene los valores más altos de PH (12.41 g) y LT (11.4 cm) mientras que en condiciones de densidad alta, los valores de PH (4.72 g) y LT (8.3 cm) son los más bajos. Esto indica que la densidad tiene efecto directo en los índices de crecimiento, probablemente debido a los procesos de competencia por alimento y depredación; las larvas grandes de *Ambystoma* son más agresivas que las pequeñas, además la presencia de larvas grandes reduce el índice de forrajeo de las más pequeñas (Chaparro, 2007) surgiendo así jerarcas que merman el aumento de PH y LT de las larvas pequeñas. Para lograr un desarrollo más homogéneo debemos optimizar la densidad.

Alimentación

La alimentación en cautiverio es muy importante (Maya, 2006). Wallays (2000), recomienda utilizar para la cría de ajolote lombrices de tierra, *Artemia sp*, *Daphnia sp*, trozos de carne o corazón de res y alimento para peces, y reporta que alimentar a ajolotes juveniles exclusivamente con lombrices de tierra, resulta en un crecimiento de 15 centímetros en un año. En otros sistemas de cultivo como la colonia que se encuentra en FES Iztacala se les alimentaba con hígado y carne de res. Sin embargo, se reportó que este alimento ocasionó la presencia de parásitos provocando una alta mortalidad en los ajolotes, por ello la dieta se cambió por grillos y tortuguetas (PETMAL) (Maya, 2006).

En el cultivo del CIBAC, todos los estanques contaban con alimento vivo natural disponible que consistió en zooplancton y adición suplementaria de macroinvertebrados como *Tubifex sp*. No obstante, no se realizó identificación de las especies que componían el alimento vivo; es muy probable que hubiera *Daphnia sp.*, presente, considerando que en la investigación de Chaparro (2007), se muestra la preferencia del ajolote por este género. Sin embargo, dependiendo del estado larval, *A. mexicanum* adecua su dieta. Chaparro muestra en sus resultados de contenido estomacal de *A. mexicanum* una preferencia en las primeras semanas por presas pequeñas de 100 a 3000 μm , así como con niveles de nado menores a 80 mm/seg. Como cladóceros *Alona sp*, posteriormente consume especies más grandes como *Simocephalus sp*.

El ajolote como depredador, elige cuándo, dónde y qué comer, así como la magnitud de su ingesta basado en diversas compensaciones (Gerking, 1994). Durante sus primeras ocho semanas de desarrollo *A. mexicanum* consume selectivamente presas zooplanctónicas principalmente rotíferos, cladóceros y ostrácodos. El zooplancton es el alimento que mejor se adapta a las formas de vida del ajolote que generalmente se desplaza en el fondo de la columna de agua y pocas veces nada (Nandini et al., 2005; Duhon, 1989) y que se considera un cazador pasivo (Zaret, 1980) pues su comportamiento alimentario es solo abrir la boca en ocasiones variadas, absorbiendo agua junto con el alimento que tenga alrededor (Chaparro, 2007).

El incremento en la supervivencia en las primeras etapas larvales de especies acuáticas como los *Ambystomas*, marca un hito en la futura conservación de la especie (Chaparro, 2007) y para aumentar el porcentaje de supervivencia de las larvas es indispensable la disponibilidad de presas como rotíferos, cladóceros y ostrácodos. *A. mexicanum* como depredador acuático, come a su presa entera, la relación entre el tamaño de su boca y el tamaño de su presa tiene implicaciones importantes para la opción de captura (Chaparro, 2007), ya que se establece una relación óptima entre el cuerpo de la presa y el tamaño de la boca, así como la energía que se invierte y se adquiere en la captura de la presa (Gill, 2003). Por esta razón, es importante monitorear la presencia de diferentes especies de alimento vivo.

Supervivencia

Mayan *et al.* (2003) reportan que durante los dos primeros meses de vida se observa una alta mortalidad en las crías que se puede deber a infecciones ocasionadas por protozoarios del género *Ichtyobodo* y hongos del género *Saprolegnia*, que ocasionan necrosis y lesiones en piel y branquias, Petranka (1989) sugiere que las heridas causadas por ataques entre larvas, pueden traer como consecuencia infecciones de hongos como *Saprolegnia*, incrementando la mortalidad de las crías (Mayan, 2006). En las biometrías que se realizaron no se encontraron organismos con lesiones aparentes ocasionadas por parásitos, sin embargo, encontramos un organismo muerto cuya columna vertebral estaba expuesta y un organismo con la mandíbula desgarrada, lesiones que indican la presencia de canibalismo.

No hubo diferencia significativa diferencia entre las puestas logradas en laboratorio y las de ambiente natural.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- *Ambystoma mexicanum* es una especie que se encuentra en grave riesgo de desaparecer, por lo que es fundamental generar información para optimizar su manejo en cautiverio y producir crías y juveniles que puedan ser empleados en programas de repoblamiento para coadyuvar al rescate de esta especie en Xochimilco.
- La información generada indica que es factible producir etapas juveniles de *A. mexicanum* de una talla de 10 cm de LT y un peso promedio de 10 g en un lapso de 5 meses, a densidades de 180 y 400 organismos/6 m³ en estanques circulares a cielo abierto, alimentándolos con *Daphnia sp* y *Tubifex sp*, con niveles de supervivencia de 46 a 69% respectivamente.
- Los resultados señalaron que cuando la densidad poblacional es alta existe gran heterogeneidad en el crecimiento de *A. mexicanum* debido a su comportamiento jerarca junto con la competencia intraespecífica que ocasiona la diferencia en aumento de peso y talla entre los organismos de la misma densidad poblacional.
- La densidad intermedia (D2 = 400 organismos), presentó mayor homogeneidad en tallas y pesos debido a que la población no excedió la capacidad de carga del medio y todos los organismos tuvieron la misma oportunidad de acceso a los recursos.
- Los factores de calidad del agua medidos en el agua proveniente del humedal artificial del CIBAC, indicaron que el agua fue apta para el cultivo de los organismos y se encuentran dentro de los estándares reportados en diversas normas internacionales además que no tuvieron ningún efecto negativo sobre el desarrollo embrionario de los organismos.
- La descripción de las etapas de desarrollo embrionario obtenidas en la presente investigación, están en concordancia con estudios previos, pero en un lapso mayor (22 días, 302°C acumulados), diferencia que se atribuye a los diversos regímenes de temperatura empleados en las otras investigaciones.
- Los resultados mostraron que es posible cultivar *Ambystoma mexicanum* desde huevecillos recién eclosionados hasta etapas juveniles fuera de laboratorio con lo que disminuimos los costos de producción.

Recomendaciones

- El control de los organismos jercas en sistemas de cultivo es un elemento primordial, por lo que se recomienda separar a los organismos de mayor talla en el momento que se detecte este efecto (incremento en la varianza) de los estimadores de PH y LT, en futuros ensayos.
- Asimismo, debería explorarse el uso de refugios para disminuir la competencia inter-específica en el cultivo.
- Se sugiere explorar el uso de alimentos alternos y sus combinaciones en etapas subsecuentes.
- Se recomienda emplear el enfoque ecofisiológico – bioenergético para calcular las eficiencias de transferencia de energía de la especie en protocolos posteriores.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J. D., D. D. Hassinger y G. H. Dalrymple. 1971. Natural mortality of eggs and larvae of *Ambystoma tigrinum*. *Ecology* 52:1107-1112.
- Argueta, A. 2008. Los Saberes Purépecha, los animales y el diálogo con la naturaleza. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad Nacional Autónoma de México, Gobierno del Estado de Michoacán, Universidad intercultural indígena de Michoacán, Casa Juan Pablo y Programa de Naciones Unidas para el Ambiente. México.
- Atencio-García V. y E. Zaniboni-Filho. 2006. El canibalismo en la larvicultura de peces. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*. Córdoba; 11: 9-16.
- Armstrong, J. y G. Malacinski. 1989. *Developmental Biology of the axolotl*. USA: Oxford University Press. 201-219.
- Bertness, M.D. 1989. Intraspecific Competition and Facilitation in a Northern Acorn Barnacle Population. *Ecology* No: 257-268.
- Boone, M.D., D.E. Scott y P.H. Niewiaroski. 2002. Effects of hatching time for larval *Ambystoma* salamanders. *Copeia*.
- Bordzilovska, N.P. y T.A Dettlaff (1979). Table of stages of the normal development of axolotl embryos and the prognostication of timing of successive developmental stages at various temperatures. *Axolotl Newsletter* 7:2-22.
- Brandon, R.A 1970. Size range, size at maturity and reproduction of *Ambystoma* (Bathysiredon) *dumerillii* (Duges) a paedogenetic Mexican salamander endemic to lake Patzcuaro, Michoacan. *Copeia* 1970: 385-388.
- Brun, R.B (1980). Axolotls in the lab. *Axolotl Newsletter* 9:21-25.
- Cameron, R. y M. Carter. 1979. Intra and interespecific effects of population density on growth and activity in some helicid land snails (Gastropoda: Pulmonata). *Journal of Animal Ecology* 48:237-246.
- Casas-Andreu. G., G. Cruz-Aviña. y Aguilar-Miguel, X. 2004. Un regalo poco conocido de México al mundo: el ajolote o axolotl (*Ambystoma*: Caudata: Amphibia). Con algunas notas sobre la crítica situación de sus poblaciones. *Ciencia Ergo Sum* 10: 304-308.
- Chaparro H. D. 2007. Biología de la alimentación de *Ambystoma mexicanum*: implicaciones para su conservación.
- CONABIO. 2011. Fichas de especies prioritarias. Ajolote Mexicano (*Ambystoma mexicanum*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F. Compilado y revisado por: R. Arreola; C. Galindo-Leal y A. Domínguez-Guerrero. Enero, 2011.

- Corona S. A. 2012. Calidad de agua tratada por un humedal artificial para su uso en el cultivo del ajolote *Ambystoma mexicanum* Shaw, 1978 (Amphibia: Urodela) en Xochimilco D.F. Informe final de servicio social. Unidad Xochimilco. División de ciencias biológicas y de la salud. Departamento El Hombre y su Ambiente.
- Curtis H., N. S. Barnes, A. Schnek, A. Massarini. Biología. 2008. 7a edición en español. Ed. Panamericana.
- Dai, W., X. Wang, Y. Guo., Q Wang, Y J. Ma. 2011. Growth performance, hematological and biochemical responses of African catfish (*Clarias gariepinus*) reared at different stocking densities. African J. Agric. Res. 6:6177
- Dettlaff, T.A .1964. Cell division, duration of interkinetic states and differentiation in early stages of embryonic development. Adv. Morphol. 3:323-362
- Dettlaff, T.A. and A.A. Dettlaff 1960. Dimensionless characteristics of the development duration in embryology. Dolk. Akad. Nauk. SSSR, 134:199-202
- Dettlaff, T.A. and A.A. Dettlaff 1961. On relative dimensionless characteristics of developmental duration in embryology. Arch.Biol., Liege 72:1-16
- Dettlaff, T.A and T.B Rudneva (1973). Dimensionless characteristic of developmental duration in *Xenopus laevis*. Ontogenez. 4:461-471
- Díaz-Olarte J.J; E. Cruz-Casallas; L.J Marciales-Caro; V.M. Medina-Robles y P.E. Cruz-Casallas. 2009. Efectos de la densidad de siembra y disponibilidad de alimento sobre el desarrollo y sobrevivencia de larvas de *Pseudoplatystoma fasciatum*. Orinoquia 13(1):20-29.
- Duellman, W. E. y L. Trueb (1986). Biology of amphibians. McGraw-Hill, New York.
- Duhon S. T. 1989. Diseases of Axolotls. En: Armstrong J y Malacinski (eds). Developmental Biology of the Axolotl. Oxford University Press. UK. 320pp.
- Dupont-Nivet, M,V. Coste, P. Coinon, J.C. Bonnet y J.M. Blanc. 2000. Rearing density effect on the reproduction performance of the edible snail *Helix aspersa* Muller in indoor rearing. Ann. Zootech, 49: 447-456.
- Flores V.O, Q.F. Mendoza y G.P García. 1995. Recopilación de claves para la determinación de anfibios y reptiles de México. Publicaciones especiales del Museo de Zoología. Universidad Nacional Autónoma de México. 10:68.
- García E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Ed. Offset Larios. México, s/p.
- Gill A., B. 2003. The dynamics of prey choice in fish: the importances of prey size and satiation. Journal of Fish Biology (2003) 63 (Supplement A), 105-116.
- González, O. G. Pérez-Camargo, M. Membiela, D. Frezza, N. Bartoloni y C. Vieites. Efecto de la densidad poblacional en la productividad de caracoles (*Helix aspersa*) en un sistema a

cielo abierto alimentados con acelga y suplemento alimentario balanceado. *Cienc. Inv. Agr.* [online]. 2008, vol.35, n.3 [citado 2015-08-25], pp. 251-257. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202008000300002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-1620. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202008000300002>. (Cita del artículo completo)

Graue, W.V. 1998. Estudio genético y demográfico de la población del *anfibio Ambystoma mexicanum* (Caudata: Ambystomatidae) del lago de Xochimilco. Tesis de Doctorado. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, pp 108.

Harrison, R.G. 1969. Harrison stages and description of the normal development of the spotted salamander, *Ambystoma punctatum* (Linn). In Organization and development of the Embryo (S. Wilens, ed.). Yale University Press. New Haven, CT, pp. 44-66.

Helena C. 2008. Biología. 7ª edición en español. Ed Médica Panamericana. Buenos Aires.

Hernández-Avilés, J. S. 1996. Estudio experimental del ajolote *Ambystoma mexicanum* como guía para su conservación del Parque Ecológico de Xochimilco. Tesis de maestría. FES Zaragoza, UNAM, México. PP68.

Herried, C.F., y S. Kinney, 1996. Survival of Alaskan wood frog (*Rana sylvatica*) larvae. *Ecology* 47 1039-1041

Holdrich D.M y R.S Lowery. 1980. Freshwater crayfish, biology, management and exploitation. Timber Press. 480 pp.

Huacuz, D. 2002. Programa de conservación y manejo de *Ambystoma dumerilii* el achoque del lago de Pátzcuaro. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales. Morelia, Michoacán. 138 pp.

Jiménez-Cisneros, B. E. 2007. Información y calidad del agua en México. Trayectorias, mayo-agosto 9 (24): 45-56

Jorgensen. C.B 1992. Growth and reproduction in "Environmental Physiology of the Amphibians" (M. Feder and W. Burggren, eds), pp.439-466. University of Chicago Press. Chicago.

Kennedy R. and E. Zaniboni. 2002 Larvicultura do Mandi-amarelo *Pimelodus maculatus* Lecépède, 1803 (Siluriformes: *Pimelodidae*) em diferentes densidades de esticagem nos primeiros dias de vida. R. Bras. Zootec. 31 (2): 560-565.

Kestemont, P; Jourdan, S; Houbart, C.C; Paspatis, M; Fontaine, P; Cuvier, A; Kentouri, M and Baras, E. 2003 Size heterogeneity, cannibalism and competition in culture predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture*; 227:333-356.

- Kossowski, C. 1996. Perspective de L`elevage despoisons-chats (Siluroidei) en Amèrique du Sud. Aquat. Living Resour. 1996. Hors Sèrie: 189-195.
- Lagrifa, L. 2002. Helicicultura. Cultivo del Caracol Terrestre. Editorial Propia. La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. 119 p.
- Llanes, J. y J. Toledo. 2012 Evaluación de dos densidades poblacionales en la preceba de *Clarias gariepinus* con alimento semihúmedo Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 46, núm. 3, septiembre, pp. 291-294 Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba.
- Latournerié-Cervera J. R., F. Arana-Magallón, A. Guitiérrez-Astorga, D. Bonilla Cerquedo, Y. Nacif-Osorio. Caracterización Físico-Química de las lagunas del humedal de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco: Octubre 2013-Mayo 2014. VI Congreso de la AMLAC. Ciudad Universitaria, UNAM, 2014.
- Lopes, J.M; L. Silva y B. Baldisserotto. 2001. Survival and growth of silver fish catfish larvae exposed to different water pH. Aquacult Int. 9: 73-80.
- Lot, A., A. Novelo y A. Quiroz, 1979 "the Chinampa": An Agricultural System That Utilizes Aquatic Plants". J. Aquat Plants, Manage, 17:74-75.
- Maya M. G. 2006. "Aspectos de mantenimiento y desarrollo en cautiverio del ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*)". Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Maya, P.M., F.J. Benítez y V.M Gonzáles. 2003. Histopatología de la unidad respiratoria piel-branquias-pulmón de larvas de ajolote *Ambystoma mexicanum* (Amphibia: Anura). II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura.
- Moctezuma-Malagon, A. 1996. Bases Biológicas y Técnicas para el Cultivo del Acocil *Cambarellus montezumae*. Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Marinas. Tesis de Maestría. 50-60
- Molina-Vázquez, A. 2010. El Ajolote de Xochimilco. Revista Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM. No.98: 54-59.
- Momot, W.T. y H. Gowing. 1977. Production and population dynamics of the crayfish *Orconectes virilis* in three Michigan Lakes (cit.) H. H. Hobbs III Ecology and classification of north American freshwater invertebrates. Thorp and Covich eds. Academic Press. N.Y USA. P: 823-858.
- Moreno, R. 1969. El axolotl. Estudios de Cultura Náhuatl VLLL: 157-173.
- Nandini S. Ramirez-García, S.S.S. Sarma. Seasonal variation in the species diversity of planktonic rotifers from Lake Xochimilco (México. Journal of Freshwater Ecology, 20, pp. 287-294 (2005).
- Norris D.O., R.E. Jones, and B.B. Criley (1973). Pituitary prolactin levels in larval, neotenic and metamorphosed salamanders (*Ambystoma tigrinum*). Gen. Comp. Endocrinol.20:437-442.

- Nuñez, J; R. Dugué, N. Corcuy-Arana, F. Duponchelle, J.F. Renno, T. Raynaud, N. Hubert y M. Legendre. 2008. Induced breeding and larval rearing of Surubí, *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766), from the Bolivian Amazon. *Aquacult Res.*; 39:764-776.
- Ortega C. A. 2000. El ajolote. 36, México: Elementos, vol. 6.
- Perea, J; R. Martín, R. Acero, E. Félix, A.G. Gómez, A. García-Mayoral, F. Peña, y A. García. Selección de hábitat en caracoles terrestres y sus aplicaciones a la helicultura. *Archivos de Zootecnia* 55R: 1-12.
- Pérez-Saldaña M.C; M. Gutiérrez-Acosta, O. Morales-Francisco y J. Pérez-Saldaña. 2006. Experiencias de cultivo de achoque (*Ambystoma dumerilii*) en cautiverio. Monasterio de Dominicas de Orden Predicadores María Inmaculada de la Salud AR. Pátzcuaro, Michoacán.
- Petranka, J.W. 1984. Sources of interpopulational variation in growth responses of larval salamanders. *Ecology* 65 No. 6. 1857-1865
- Petranka, J.W. 1989. Density-dependent growth and survival of larval *Ambystoma*: Evidence from whole-pound manipulations. *Ecology* 70 (6) 1752-1767.
- Prado, Z. E.; R C. F Pedrozo y E. S. Domínguez. 1996. Curva de crecimiento de especímenes de *Ambystoma mexicanum* nacidos en una colonia controlada. Memorias de la IV Reunión Nal. de Herpetología, Cuernavaca Morelos.
- Prahlad, K.V., y L.E DeLanney. (1965). A study of induced metamorphosis in the axolotl. *J. Exp. Zool.* 160. 137-146.
- Poot-López G.R; E. Gasca-Leyva y M. A Olvera-Novoa. 2012. Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidoscolus chayamansa* MacVaugh) *chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado. *Lat. Am. J. Aquat.* Vol 40, pp. 835-846. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-60X2012000400002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-560X. <http://dx.doi.org/10.3856/vol40-issue4-fulltext-2>.
- Qin, J. y A.E Fast. 1996 Size and feed dependent cannibalism with juvenile Snakehead *Chana striatus*. *Aquaculture*. 144:313-320.
- Ramírez-Carrillo, H.F; V.M Luna-Pabello. y J.L Arredondo-Figueroa. 2009 Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol 8, No1, 93-99.
- Scot Peter W. Axolotls, care and breeding in captivity. USA: TFH publications, Inc., 1995.
- 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. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.
- Smerman, W; J.G. Díaz, J.J Detolledo, C.A Santos y D. Suelde. 2002. Larvicultura de pintado (*Pseudoplatystoma* sp) em Alta Floresta- Mato Grosso. Revista de Biología e Ciências da terra, 2 Supl 1:1-8.
- Taurog A., C. Olivier, R.L Eskay, J. C. Porter, and J. M. McKenzie (1974). The role of TRH in the neoteny of the Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). Gen. Comp. Endocrinol. 24:267-279.
- Xolalpa-Laurel, F. 2009. Monitoreo quincenal de clorofila a y parámetros fisicoquímicos en tres localidades de los canales de Xochimilco (El Bordo, La Virgen y El Japón) período 11 de agosto al 3 de noviembre 2008). Reporte de investigación, Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. pp: 9.
- Valiente E. 7ª reunión del grupo de trabajo del ajolote de Xochimilco en cautiverio. Recursos alimenticios del ajolote de Xochimilco (online) agosto 15, 2007. http://ajolote.biologia.unam.mx/ajolotes_cautiverio.htm.
- Velarde-Mendoza, T. 2012. Importancia ecológica y cultural de una especie endémica de ajolote (*Ambystoma dumerilii*) del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Revista Etnobiología. ISSN 1665-2703.
- Vinatea, L. 2002. Principios químicos de calidad del agua en acuicultura: una revisión para peces y camarones. UAM-Xochimilco, México.
- Voss S.R. 1993. Effect of temperature on body-size, developmental stage, and timing of hatching in *Ambystoma maculatum*. Journal of Herpetology, 27:329-333.
- Wallays, H. 2000. Food for Urodela. The Axolotl Newsletter. 28:3-9
- Zambrano González, L., Reynoso, V. H. y G. Herrera. 2004. Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. AS004. México D. F. pp 4.
- Zaret T., M. 1980. Predation and freshwater communities. Yale University Press, new haven, Connecticut.