



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**Cultivo experimental del ajolote (*Ambystoma mexicanum*)  
como estrategia para su conservación en el Parque  
Ecológico de Xochimilco.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**B I Ó L O G O**  
**P R E S E N T A**  
**JORGE ENSASTIGUE LÓPEZ**

Director: M en C. JUSTO SALVADOR HERNÁNDEZ AVILÉS

México D.F.

Noviembre del 2003

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

## **DEDICATORIAS**

A Dios y a mis padres: Jorge Ensastigue Martínez (+) y Sofía López Franco, por darme la vida, el valor maspreciado.

A mi esposa Maria Elena Novoa Orozco y a mi hijo, Jorge Vladimir Ensastigue Novoa, por ser mi motivacion, y lo mejor de mi vida.

A mis hermanos y a mis sobrinos, por sus buenos momentos, esperando que sea un estimulo en su vida

Al creador, a la Naturaleza, y al amor que permiten que este mundo continúe con vida.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de tesis M. En C Justo Salvador Hernández Avilés por compartir su tiempo, experiencia, amistad y por apoyarme a culminar este trabajo.

Al patronato del Parque Ecológico de Xochimilco y en especial al director del Parque Ecológico de Xochimilco, Dr. Erwin Stephan Otto Parrodi por el apoyo otorgado.

A mis sinodales:

Dr. Isaías H. Salgado Ugarte

M. en C. J. Salvador Hernández Avilés

Biól. Raúl Arcos Ramos

Biól. Ma. del Carmen Galindo de Santiago

Dra. Laura Sanvicente Añorve

Por sus correcciones y atinadas sugerencias que ayudaron a mejorar este trabajo.

Al maestro Enrique Laguna, por sus consejos y estímulo.

A la FES-Zaragoza, por permitirme cumplir con esta meta.

A mis amigos: Carmen Tepayotl, Guadalupe Osorio, Carlos Arthur, Ivan Salas, Charly Dauber, Arturo Robledo, Ignacio Medina, Juan Carlos Licona, Luis Chicharo, y a todos aquellos de quien en este momento omito involuntariamente, por sus consejos, ayuda moral y buenos momentos.

Al C. Miguel Ángel Munguía, quien tomo la foto del ajolote *Ambystoma mexicanum*, que aparece en este trabajo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE

	Página
• Resumen	3
• Introducción	4
• Objetivos	6
• Antecedentes	7
• Localización y características de la zona de estudio	9
• Método	12
a) Acondicionamiento y mantenimiento de acuarios	12
b) Colecta, selección y adaptación al cautiverio del pie de cría	13
c) Inducción al apareamiento, desove y eclosión	17
d) Distribución y mantenimiento de huevecillos y crías	18
e) Calidad de agua del sistema de cultivo	20
f) Alimentación de Ajolotes en cautiverio	20
g) Producción de alimento	22
h) Tratamientos contra enfermedades	25
i) Estimación del crecimiento del ajolote	27
j) Tabla de vida y sobrevivencia	29
• Resultados	31
• Discusión	46
• Conclusiones	55
• Recomendaciones	57
• Literatura citada	59
• Apéndice: Biología de la especie, clasificación taxonómica, distribución, morfología, alimentación, cortejo y reproducción	64

## RESUMEN

En este trabajo se cultivó el ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*), anfibio endémico de los remanentes de la zona lacustre de la Ciudad de México que actualmente se encuentra amenazado de extinción, bajo condiciones controladas en acuarios como una estrategia para su conservación dentro del Parque Ecológico de Xochimilco (PEX). Con un pie de cría obtenido de los canales de Xochimilco, se indujo la reproducción por temperatura obteniendo 10 desoves fértiles y con hormona gonadotrópica coriónica (HGC) donde sólo se tuvo éxito en uno de los casos. A tres lotes de las poblaciones de ajolotes nacidas en cautiverio se les dio un seguimiento en sus diferentes etapas de desarrollo, evaluando su crecimiento, condición, tabla de vida y curva de supervivencia.

El crecimiento en longitud de las poblaciones se ajustó al modelo oscilatorio estacional de Von Bertalanffy, cuyas fluctuaciones se debieron principalmente a variaciones en la calidad del suplemento alimenticio. El crecimiento de los ajolotes se hizo asintótico casi a partir del año de edad. El tipo de crecimiento para uno de los lotes fue isométrico, mientras para los otros dos alométrico negativo. La condición relativa de los diferentes lotes de ajolotes mostró una correspondencia con la relación peso-longitud.

El porcentaje de peso ganado en las primeras etapas fue superior al 200%, con decrementos consecutivos a partir del décimo mes. La tasa instantánea de crecimiento máxima correspondió a los primeros cuatro meses después de la eclosión. Las poblaciones definieron curvas de supervivencia del tipo IV, registrando una tasa de mortalidad elevada entre los 30 y 45 días de edad, por efecto de una enfermedad dérmica degenerativa, causada por ataques bacterianos o resultado de una competencia por el espacio.

En esta primera experiencia se logró obtener el primer lote de reproductores nacidos en cautiverio, iniciándose el proceso de selección del genoma de la especie como una medida efectiva para su recuperación y conservación, siendo necesario continuar con este esfuerzo para iniciar la fase de repoblamiento de los sistemas lacustres en donde se desarrolla.

## INTRODUCCIÓN

El ajolote mexicano se encuentra amenazado de extinción y por tanto bajo protección especial según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL/1994 del Diario Oficial, del lunes 16 de mayo de 1994.

El presente proyecto contribuye a los esfuerzos realizados por el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco, mediante la conservación de esta especie la cual es endémica de los canales, motivo por el que se pretende conservarla a través de su reproducción y su posterior siembra y cuidado en los cuerpos de agua del Parque Ecologico de Xochimilco (PEX). Esta investigación, fue financiada por la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) en el año de 1997, a través de un proyecto por encargo al Patronato de dicho parque, registrado con clave J087.

Actualmente el *Ambystoma mexicanum* sólo persiste en los canales de la zona chinampera de Xochimilco de la ciudad de México, la amenaza de extinción del ajolote es provocada por la alteración de su hábitat por factores naturales (sequía y azolve) y por el impacto ambiental ocasionado por el uso excesivo de los recursos acuáticos, actividades agropecuarias, domésticas y desagües urbanos e industriales (Calderón y Rodríguez, 1986). También contribuyen a su posición precaria el drenado y relleno de lagos, la contaminación y la introducción de depredadores en el hábitat donde viven (Shaffer, 1989). En la actualidad la fauna acuática esta conformada principalmente por carpa (*Ciprinus carpio*) en distintas variedades y mojarra (*Oreochromis nilotica*), ambas especies introducidas y que son muy voraces del huevo y la cría del ajolote (Duhon, 1997).

*Ambystoma mexicanum*, es un miembro derivado reciente del complejo *Ambystoma tigrinum*, y ha sido un modelo importante dentro del desarrollo y evolución biológica. En algunos trabajos recientes se indica que *A. mexicanum* se clasifica dentro de un grupo de salamandras (Ambystomidae) que son extremadamente variables en morfología, ecología y características históricas de vida (Shaffer, 1993).

Gran parte del interés que despierta esta especie se debe a su neotenia. Estos anfibios, no evolucionan a la condición terrestre, se desarrollan reteniendo la morfología larvaria (branquias externas, aleta caudal de gran tamaño, ausencia de párpados móviles) y es obligadamente acuático al madurar sexualmente. Asimismo su capacidad de regeneración inusitada en un vertebrado, es objeto de mucho interés en investigaciones de biología del desarrollo, genética y neurología. Como su reproducción ha sido exitosa en laboratorios del mundo, se puede decir que esto es lo que lo único que lo protege de la extinción, ya que su área de distribución natural ha ido disminuyendo drásticamente (Duhon, 1997).

En las listas de colonias de ajolote que existen en el mundo, figuran nueve de ellas en diversas partes del mundo, pero ninguna en México siendo que es una especie endémica del país, aunque muy estudiado en el laboratorio, los estudios en su hábitat natural son muy limitados (Armstrong y Malacinski, 1989).

Este trabajo tuvo como finalidad desarrollar la metodología básica para el cultivo del ajolote mexicano, como una estrategia para su conservación a través de iniciar un proceso tendiente a la domesticación de la especie por acuicultura, la cual de acuerdo a (García C. Y Cabrera J., 1990), se caracteriza por la manipulación directa de los organismos en una etapa de su ciclo de vida, principalmente durante el proceso reproductivo, así como la satisfacción de sus requerimientos nutricionales con el empleo de diferentes dietas y bajo ciertas condiciones ambientales controladas. En México el conocimiento de este anfibio es incipiente y más aún no existen propuestas biotecnológicas para su manejo, especie importante desde el punto de vista ecológico, evolutivo y cultural (Rojas, 1995).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **OBJETIVO GENERAL**

Cultivar el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) bajo condiciones controladas en acuarios, como estrategia para su conservación.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. - Reproducir al ajolote bajo condiciones controladas en acuarios, a partir de la obtención de un pie de cría de los canales de Xochimilco.
2. - Evaluar el crecimiento y condición de la colonia de ajolotes nacidos en cautiverio.
3. - Elaborar las tablas de vida de una cohorte para la población de ajolote en cultivo.
4. - Determinar la calidad de agua del sistema de cultivo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANTECEDENTES

El término axolotl es de origen náhuatl que proviene de los vocablos "AL" que significa agua y "XOLOTL" que significa monstruo (Monstruo de agua), el "Axolotl" es un organismo acuático que representa una figura mitológica asociada al Dios Azteca Xolotl (Smith, 1971). Desde la época prehispánica el *Axolotl*, era apreciado como un alimento nutritivo y de buen sabor, era utilizado como terapéutico en enfermedades respiratorias como el asma y la bronquitis, los habitantes de esta zona realizaban su captura como una fuente importante de alimento (Rojas 1995).

El conocimiento del ajolote inicia en 1519 con las investigaciones de las incursiones de las tropas de Cortés en la Ciudad de México. El papel del ajolote en la vida azteca fue documentado en códices como el Florentino, Madrid y Vaticano, escritos por frailes españoles como Bernardino de Sahagún en el periodo de 1558-1577. La primera referencia impresa del ajolote aparece en el libro de Historia Natural de Ximénez en 1616. Sin embargo fue hasta 1865, que la revolución científica tuvo un auge sin igual en biología y en estos años hubo un elevado número de publicaciones sobre el ajolote. En Francia en el Museo de Historia Natural inicia la primera colonia con 33 ajolotes vivos Smith (1989a).

La literatura sobre el ajolote de 1865 a 1885 es dominada por experimentos y especulaciones concernientes a la causa y significado del mismo ajolote y zoología general del aún desconocido fenómeno de transformación. En el año de 1971 el ajolote fue sujeto a estudios de embriología, regeneración, metamorfosis, endocrinología, cultivo, y anatomía. Naturalmente el tema de cultivo del ajolote fue un tópico muy popular, causa de su popularidad en Europa Central en acuarios caseros, y particularmente de su propagación y experimentación en el laboratorio (Smith, 1989a).

En los Estados Unidos desde 1973, la Universidad de Indiana tiene una colonia de *Ambystoma mexicanum*, y en una década alcanzó alrededor de 500 adultos. Este laboratorio dedicado al ajolote, ha alcanzado en el ámbito

mundial uno de los más altos grados de selectividad y manejo para un animal mantenido en laboratorio. Desde 1997 el ajolote es vendido por este laboratorio desde la etapa embrionaria hasta la adulta y es utilizado por muchos investigadores del mundo como anfibio modelo en muchos de los procesos fisiológicos y morfológicos del grupo. Presenta diversos procesos hormonales que han sido estudiados ampliamente para explicar el mecanismo regenerativo que posee. Un grupo de evolucionistas y ecologistas ha orientado sus estudios del ajolote en la variación de su desarrollo y consecuente evolución biológica (Duhon, 1997).

En México a partir del año de 1997 la Universidad Autónoma de México, a través del Centro de Investigaciones Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC) ha realizado investigaciones formales acerca del *A. mexicanum*, Graue (1998) llevó a cabo un estudio demográfico de la especie en los canales de Xochimilco, el cual tuvo una abundancia muy baja, que en un futuro podría reflejarse en una disminución en la variabilidad genética. También encontró que la población estudiada no presentó una reducción en su variabilidad aloenzimática que evidenciara un cuello de botella en su historia evolutiva, sin embargo la proporción de sexos mostró un desequilibrio a favor de las hembras.

Redondo (1999) efectuó el aislamiento, purificación e identificación de bacterias, a partir de abscesos con aspectos de tumor desarrollados sobre diferentes zonas del cuerpo de los ajolotes (*Ambystoma mexicanum*) cultivados en el CIBAC, así como del agua que se utiliza para su crianza, agua tratada proveniente de la pista de canotaje Virgilio Uribe. Se identificaron siete especies patógenas de organismos acuáticos, asociadas con procesos infecciosos en el cuerpo de los ajolotes, entre ellas tres especies de *Pseudomonas*, y en el agua se identificaron bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

## LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Xochimilco en gran parte de su superficie es una zona agrícola y chinampera, y un centro turístico por tradición, que en la actualidad cuenta con 200 Km de canales (Bojorquez, 1991).

El Parque Ecológico de Xochimilco (PEX) fue construido por el Departamento del Distrito Federal, en áreas comprendidas dentro del Plan de Rescate Ecológico Xochimilco en el año de 1989 y englobó cuatro aspectos que son: rescate hidráulico, agrícola, arqueológico y cultural. El PEX se inauguró el 5 de junio de 1993, y es administrado por un patronato, con el propósito de conservar los recursos naturales, además de fomentar la investigación científica y contribuir a la educación ambiental. El parque tiene una superficie de 190 has, 50 de ellas ocupadas por distintos cuerpos de agua, como son: lagos, canales y ciénagas, que sirven de nicho a diversas especies de plantas y animales, además de ser un refugio para las aves migratorias (Aguirre y Estévez, 1992).

El PEX se encuentra situado en la zona sureste del D.F. en la Delegación de Xochimilco, al pie de la sierra del Chichinautzin, entre los paralelos 19° 15' 00" y 19° 17' 20" de latitud Norte y el meridiano 99° 04' 00" de longitud Oeste, a una altitud de 2238 msnm (Fig. 1).

El sur de la cuenca de México es una zona netamente lacustre, el Parque topográficamente hablando, se ubica en un área semiplana correspondiente a una enorme llanura aluvial y lacustre del antiguo vaso desecado (Aguirre y Estévez, 1992). Los suelos del parque son profundos, bien desarrollados y maduros, en su mayoría son suelos orgánicos, ricos en nutrientes y afectados por el nivel freático que fluctúa en función de la época de lluvia o estiaje, antiguamente se encontraban sujetos a problemas por inundación. Por su alto contenido de materia orgánica y humus son suelos muy fértiles, aunque también presentan altas concentraciones de sales, lo que representa una limitante muy severa para su uso y manejo (Aguirre y Estévez, 1992)

El clima que predomina, según la clasificación de Köppen, modificada por García (1981) es C(w1) (w), templado subhúmedo con un régimen de lluvias en verano, con una precipitación pluvial de 700 a 900 mm en promedio anual, con una temperatura media anual de 15.9° C, y con heladas ocasionales.

Entre la diversidad ornitológica, existen 64 especies de aves identificadas, que corresponden a 15 subfamilias, 22 familias y 10 órdenes. Del total de las especies registradas, 34 presentan una distribución neártica, 3 una distribución neotropical y 27 especies son de amplia distribución. De las 64 especies, 33 son residentes y 31 son migratorias (Tepayotl, 1998).

El Rescate Hidráulico en Xochimilco, consistió por un lado en la construcción de una red de drenaje eficiente y por otro la inyección de agua tratada, proveniente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella (Miranda, 1987). Los cuerpos de agua del PEX, son alimentados con agua de este tipo, la que se utiliza en el riego de la cobertura vegetal, se ha mejorado la calidad del agua de los sistemas acuáticos, mediante el establecimiento de plantas macrofitas vasculares, características de estos sistemas, esta estrategia representa un método natural de tratamiento biológico complementario. Las plantas utilizadas son: tule (*Thipa latifolia*), shacaltule (*Scirpus ssp*), lirio (*Eichornia crassipes*), nenúfar (*Nymphaea mexicana*), amoyo (*Azolla filiculoides*), ombligo de Venus (*Hydrocotyle verticillata*) entre otras (Ensastigue *et al*, 1998).

En cuanto a la diversidad florística existen 107 diferentes especies pertenecientes a 55 familias, ubicándolas cada una en las zonas del parque donde se encuentran. El mayor número de especies pertenece a la familia Compositae (17 especies) seguida por la Leguminosae (6 especies). Las plantas cultivadas suman 59 especies, 49 silvestres y 13 no cultivadas (Salas, 1998).

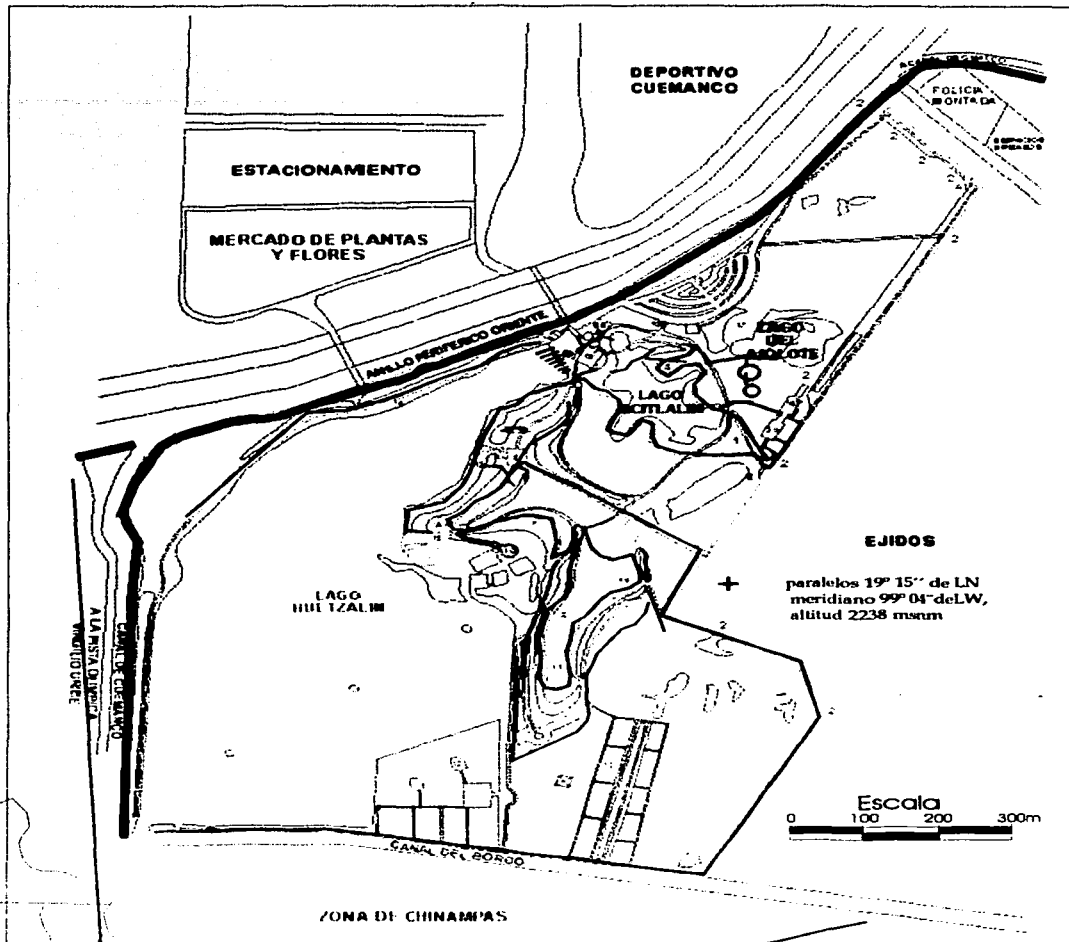


Fig.1 Localización geográfica del Parque Ecológico de Xochimilco

## MÉTODO

### a. ACONDICIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE ACUARIOS

El proyecto se realizó en las instalaciones de mantenimiento del Parque Ecológico de Xochimilco, en una superficie de 70 m<sup>2</sup>, donde se colocó un sistema de 40 peceras distribuidas en 4 anaqueles, mesas, equipo de trabajo, y accesorios como tarja y un escurridor para el material de vidrio. Se utilizaron tres diferentes tamaños de pecera con 20, 40 y 60 litros de capacidad respectivamente. También se utilizaron contenedores de plástico de 100 l de capacidad.

Los acuarios contaron con sistema de aireación, calefacción, e iluminación, periódicamente se realizaron cambios parciales de agua y acondicionamiento, dependiendo del tipo del acuario a tratar (pie de cría, cortejo, desove, eclosión, crías y juveniles) así como del número y edad de los organismos, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Se lavaron las peceras y sustrato, se colocaron filtros de placa, y grava de textura fina.
- Se llenaron los acuarios con agua potable hasta cubrir un 80% del volumen total, se adicionó una solución de tiosulfato de sodio para eliminar cloro, se mantuvo constante la aireación para equilibrar la concentración de oxígeno, y la maduración de los filtros, puesto que el sistema de filtración biológico requiere de un período de crecimiento de bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*), las cuales contrarrestan las concentraciones de amonio y nitritos.
- Se colocó planta acuática (*Elodea densa* ó *Ceratophyllum sp*) previamente desinfectada con pequeñas cantidades de permanganato de potasio, y piedras lisas o tejas de barro para la deposición del espermatóforo por el macho.
- La temperatura del agua de los acuarios se mantuvo entre los 18°C y 22°C, según lo propuesto por Duhon (1987), la cual se reguló con un termostato automático.

- Se adicionaron gotas de verde de malaquita, azul de metileno como tratamiento preventivo para evitar enfermedades por bacterias y hongos.
- Además se utilizó una Solución Holfreter stock. (HFR) al 400 %, basada en sales de cloruro de potasio, de calcio, de sodio y sulfato de magnesio (Cuadro 1) esta solución es usada en diversas colonias para el cultivo de ajolote.

Cuadro 1. Solución Holfreter stock (HFR) al 400 %, (Henning, 1996).

Reactivos	Cantidad (g)
Cloruro de potasio (KCl)	2.30
Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )	4.29
Sulfato de magnesio (MgSO <sub>4</sub> )	8.9
Cloruro de sodio (NaCl)	126.72

Para preparar la solución HFR se diluye las cantidades en 8 litros de agua y con esta se diluye en proporción 1:4 para obtenerla al 100 %.

## **b. COLECTA, SELECCIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAUTIVERIO DEL PIE DE CRÍA:**

### **b.1 Colecta de los organismos**

La colecta de ajolotes adultos se efectuó en cuatro canales de la zona chinampera de Xochimilco; utilizando el método de captura directa con atarralla en los siguientes sitios: canal de Almoloya, Tlicuili, Apampilco, y Apatlaco (Fig. 2). Se consideró pertinente seleccionar 36 ejemplares (24 machos y doce hembras), como pie de cría para asegurar la reproducción en cautiverio, con una proporción de 2:1 de acuerdo con lo propuesto por (Armstrong *et al*; 1989).



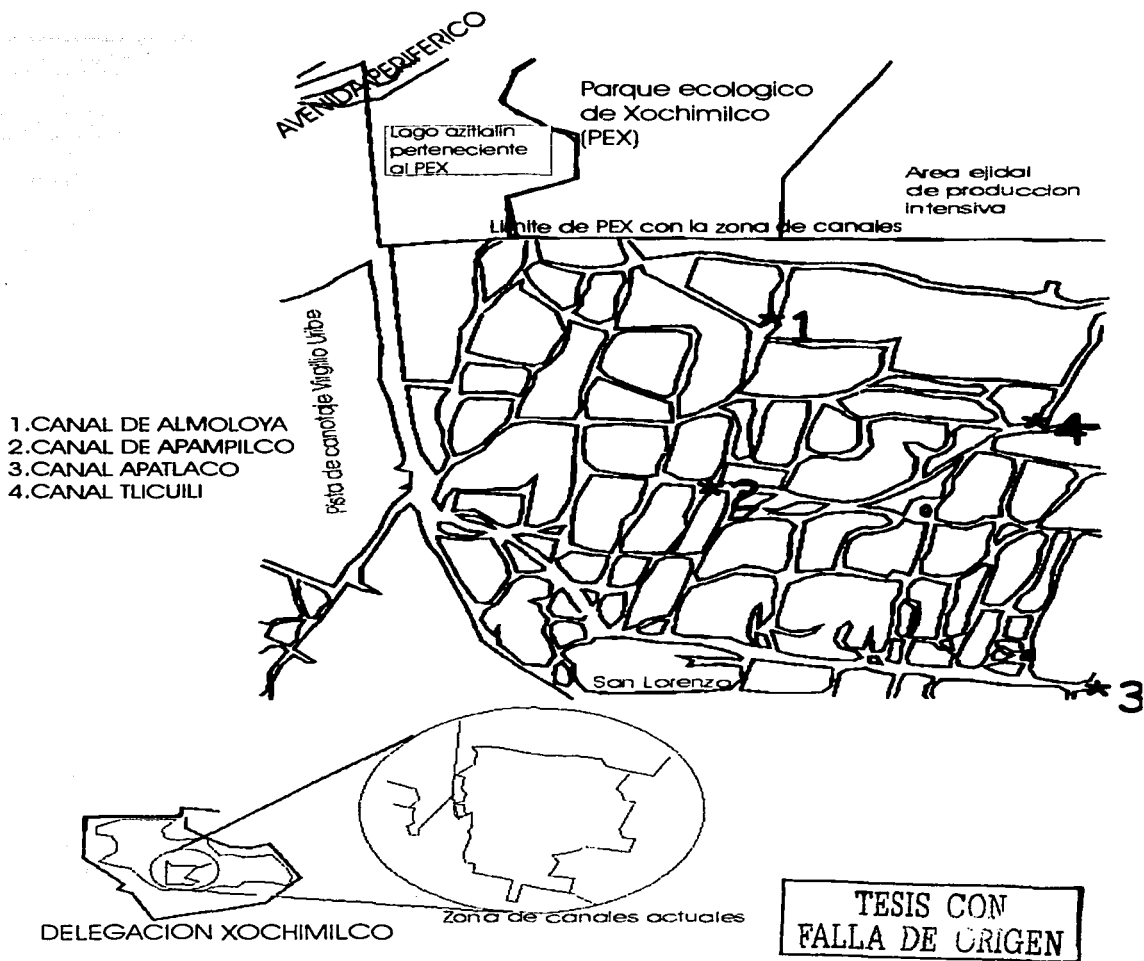


Fig. 2 Zona de colecta de los ejemplares de *Ambystoma mexicanum* utilizados como pie de cría.

## b.2 Selección de reproductores

Se tomaron en cuenta características cualitativas, que indicaran el buen estado de salud de los organismos como fueron: ausencia de enfermedades visibles en la piel y la aleta caudal, vigor, y coloración. Los ejemplares fueron sexados, separados y además se tomaron los datos morfométricos: longitud total y patrón (Fig. 3), peso y en las hembras además la anchura ventral como un indicador de su madurez reproductiva con vernier y regla, con una precisión de 0.1 cm. La longitud total fue tomada desde el extremo de la cola hasta el extremo de la cabeza, la longitud patrón desde el extremo de la cabeza hasta la cloaca y la anchura ventral en las hembras, en la parte media del abdomen.

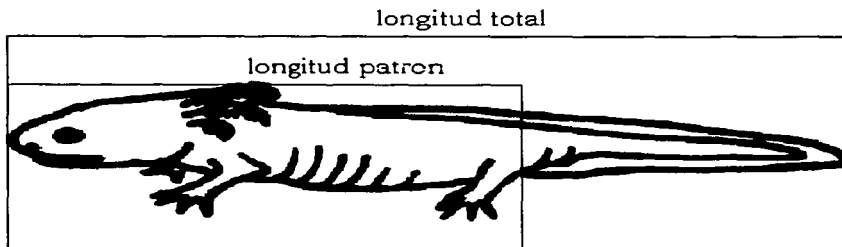


Fig. 3 Medidas morfométricas tomadas en *Ambystoma mexicanum*.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **b.3 Adaptación al cautiverio**

Los ejemplares se colocaron por sexos separados en acuarios de 40 l, para su adaptación y observación. Los ajolotes se alimentaron con una dieta de charales (*Chirostoma jordani*) y mosco o chinche de agua (*Notonecta sp.*) ambos alimentos autóctonos de los canales, y alimento complementario que consistente en artemia salina (*Artemia salina*). En la alimentación de los ajolotes se les dio una dieta racionada en función del consumo aparente y no a saciedad.

Algunos ejemplares, después de que desovaron, se colocaron en un estanque, donde se estableció un mesocosmos con la introducción de diversas poblaciones acuáticas procedentes de los sistemas lénticos del parque. El mesocosmos es una unidad experimental en donde se establece un ecosistema con características bióticas y ambientales similares a las predominantes de la zona. Este permite evaluar la respuesta de los organismos a condiciones semicontroladas y a mediano plazo realizar bioensayos. Se consideraron diferentes niveles tróficos en el diseño del ecosistema artificial, se sembraron microalgas clorofíceas y macrófitas acuáticas *Ceratophyllum sp.* y *Elodea densa*, *Daphnia pulex* (Crustacea), de otros niveles tróficos superiores: *Notonecta sp.* (hemiptera), acocil (*Cambarellus montezumae*) (Crustacea), charal (*Chirostoma jordani*) y el ajolote *Ambystoma mexicanum*, especie de interés.

### **c. INDUCCIÓN AL APAREAMIENTO, DESOVE Y ECLOSIÓN**

Para estimular el cortejo del ajolote e inducir su desove: se aplicaron dos técnicas, una física que consistió en la disminución de la temperatura del agua (Duhon, 1988; Fox 1984), y otra química por inducción hormonal Armstrong(1981).

#### **c.1 Inducción por temperatura**

Primero se mantuvieron ajolotes del pie de cría separados por sexo antes de que fueran colocados en el acuario de desove, a una temperatura promedio de 21° C y fotoperiodo normal diario durante una semana (Slack, 1983). Posteriormente se juntaron en peceras en proporción de una hembra y dos machos, reduciendo la temperatura del agua entre 8 y 11° C de acuerdo con Duhon (1988), dado que el abatimiento de la temperatura es un factor condicionante que desencadena la respuesta reproductiva de la especie. En cada acuario de reproductores, se colocó una hembra y dos machos para asegurar el apareamiento; se utilizaron piedras lisas en los extremos de los acuarios, que sirvieron como un sitio propio para que los machos depositaran el espermatóforo y la hembra realizara la fecundación de los huevos con mayor facilidad, también se puso planta acuática (*Elodea sp*), ya que la hembra ovoposita en la vegetación.

#### **c.2 Inducción Hormonal**

Se recurrió a inducciones mediante el uso de hormonas propuesto por Armstrong (1981). El procedimiento fue el siguiente: seis hembras fueron inyectadas con 250 UI de hormona gonadotropina coriónica (HCG) durante la noche, de 8 a 12 horas antes de ser colocada con los machos. En los casos en que el apareamiento fue exitoso, al siguiente día apareció en la planta una masa de huevecillos fecundados, posteriormente los ajolotes fueron retirados del acuario. En este punto existe controversia sobre el tratamiento a los machos, algunos autores mencionan que no se les debe estimular con

hormona, otros que solo deben colocarse en agua fría, terceros recomiendan el uso de la misma dosis que la aplicada en la hembra, este último fue el criterio que se siguió.

### **c.3 Desove**

La hembra tardaba entre 12 y 18 horas en depositar todos los huevos por lo cual no se sacaba del acuario antes de este tiempo. Una vez finalizado el desove se retiraba a los reproductores y se aumentaba la temperatura del agua a 20° C para el desarrollo de los huevecillos.

Se realizaron conteos estimativos de la cantidad de huevos por puesta desde fuera de la pecera y con la ayuda de lupa y lámpara. La cifra de los huevos ovopositados era una aproximación ya que para hacer un conteo preciso era necesario sacarlos del agua y despegarlos de la planta lo cual los dañaba drásticamente.

### **d. DISTRIBUCIÓN Y MANTENIMIENTO DE HUEVECILLOS Y CRÍAS**

Los primeros desoves fueron colocados en lotes de 30 huevos en acuarios de 20 l y lotes de 50 en 40 l, se utilizaron diferentes tipos de pecera dependiendo de la edad, tamaño y número. Se les aplicó el siguiente tratamiento preventivo para evitar enfermedades: 40 gotas de tiosulfato de sodio al 1.0%, 10 gotas de verde de malaquita, y 10 gotas de azul de metileno por 40 l de agua, aplicando buena aireación.

En general las crías de ajolotes eclosionaron en un promedio de 13 días a una temperatura de 20°C. Fue necesario retirar los desechos que quedaban de los huevos para evitar focos de desarrollo de enfermedades. La planta acuática permitió una mayor facilidad en el sifoneo y manejo de los alevines cuando eclosionaron.

Los acuarios con crías se mantuvieron sin cambios durante los primeros días después de la eclosión, para evitar estrés y mortandad por inadaptación al medio, a partir de la segunda semana, se realizaron cambios

parciales de agua, dependiendo de la calidad del agua y de la cantidad de individuos por pecera.

Las crías y juveniles de ajolote fueron separadas de acuerdo con sus requerimientos de espacio (Cuadro 2) (Fremery *et al*, 1986). Los juveniles se separaron en lotes de 20 individuos en acuarios de 40 l y se realizaron cambios parciales de agua, de un tercio del volumen cada semana.

Cuadro 2: Requerimientos de espacio para *Ambystoma mexicanum* de acuerdo con la edad de crecimiento.

Edad aproximada	Superficie promedio por individuo (cm)	Profundidad promedio por individuo (cm)
2 semanas	10	3
1.5 meses	40	5
2 meses	100	10
3 meses	250	15
6-7 meses	500	25
8-10 meses	500	25
11 meses en adelante	600	25

### **e. CALIDAD DE AGUA DEL SISTEMA DE CULTIVO.**

A lo largo del proyecto se analizó el agua utilizada en las peceras de reproducción, desove, eclosión y desarrollo de las crías de ajolote, se tomaron cada mes muestras de agua de cada uno de los acuarios que contenían a los ajolotes, para determinar los siguientes parámetros físicos y químicos:

- Temperatura, con termómetro de mercurio de -20 a 120° C, con precisión de  $\pm 1^\circ$  C.
- Oxígeno, mediante un oxímetro marca YSI incorporated, Mod. 57 SN, precisión 0.001 mg/l.
- pH, utilizando un Check Mate marca Corning incorporated, Mod. 90, precisión: pH 7,  $\pm 0.5$  a 25 °C.
- Conductividad (0.1 $\mu$ s/cm), y Total de sólidos disueltos totales (0.01mg/l) de precisión respectivamente, utilizando un Check Mate marca Corning incorporated, Mod. 90
- Amonio por medio del método del Fenato.
- Fosfatos mediante el uso del método del fosfomolibdato.

Las técnicas utilizadas para la determinación de las concentraciones de amonio y fosfatos fueron tomadas de APHA 1995.

### **f. ALIMENTACIÓN DE AJOLOTES EN CAUTIVERIO**

Al inicio del proyecto todas las etapas de desarrollo del ajolote se alimentaron de acuerdo a su edad con *Artemia*, *Daphnia*, *Notonecta* y acocil organismos colectados en la zona de canales y lagos del parque, además de lombriz de tierra. Antes de colocar el alimento vivo para ser consumido por los ajolotes, se lavaba y purgaba con unas gotas de solución de formalina en concentración baja al 1.0%. Sin embargo, después se optó por producir alimento limpio para tener un mejor control sobre las condiciones sanitarias.

### **f.1 Crías**

Las crías de *Ambystoma mexicanum* se alimentaron con nauplios de *Artemia salina* y *Daphnia pulex* tamizados, para obtener organismos pequeños de acuerdo con el tamaño de las crías, según lo recomendado por Brothers (1997).

Para las crías de una edad de 1 a 20 días, la proporción de alimento que se suministró diariamente por pecera fue de 1.5 g de pulga que equivalía aproximadamente a 38 mg/ajolote, además de 0.5 g de nauplios de *Artemia* equivalentes a 12 mg/ajolote. A las crías de tres semanas en adelante se alimentaron con pulga de agua en proporción de 50 mg hasta 150 mg por individuo diariamente.

### **f.2 Juveniles**

A los juveniles de mayor tamaño alrededor de los 80 días de edad (más de 5 cm y hasta 8.0 cm) se alimentaron con pequeñas *notonectas* en proporción de 120 mg diarios y 120 mg de pulga de agua. Cuando los juveniles alcanzaron los 8 cm de longitud su alimento básicamente fue la *Notonecta*, ya que la pulga de agua al ser muy pequeña, era necesario darles grandes cantidades de ésta, ocasionando problemas sanitarios. A esta edad se complementó su alimentación con pequeñas lombrices obtenidas del cultivo a razón de 400 mg diarios de lombriz californiana y pequeños acociles (*Cambarellus montezumae*). Ambos fueron bien aceptados por los juveniles los cuales al ser muy voraces necesitaban grandes cantidades de alimento ya que en esta etapa su crecimiento fue muy rápido.

### **f.3 Adultos**

Los adultos se alimentaron con insectos acuáticos (*notonectas*) 400 mg diarios, y pequeños acociles en proporción de 500 mg diarios por individuo. Los adultos utilizados para pie de cría consumieron aproximadamente 480 mg de *notonecta* diariamente. Se utilizaron 480 mg de lombriz roja



californiana (*Eisenia foetida*) la dieta se enriqueció utilizando acocil (*Cambarelius montezumae*) y pequeños charales (*Chirostoma jordan*).

Cuadro 3. Cantidad de alimento suministrado a *Ambystoma mexicanum* para las diferentes etapas de desarrollo.

	Edad (días)	Tipo de alimento	Cantidad (mg/ajolote)
alevin	1 mes	<i>Artemia salina</i>	12
		<i>Daphnia phulex</i>	38
alevin	2 meses	<i>Daphnia phulex</i>	50
alevin	2-3 meses	<i>Daphnia phulex</i>	150
alevin	3-4 meses	<i>Notonecta sp.</i>	120
		<i>Daphnia phulex</i>	120
juvenil	4-5 meses	<i>Notonecta sp.</i>	320
		<i>Eisenia foetida</i>	320
juvenil	5-8 meses	<i>Eisenia foetida</i>	400
		<i>Notonecta sp.</i>	400
preadulto	9 meses	<i>Lombriz de tierra,</i>	400
		<i>Notonecta sp.</i>	400
adulto	10 meses	<i>Lombriz de tierra,</i>	480
		<i>Notonecta sp.</i>	480

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **g. PRODUCCIÓN DE ALIMENTO**

### **g.1 Producción de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)**

Para la producción de lombriz se adquirieron 3.0 kg de pie de cría (proceso de vermicomposteo). Se utilizó un cuarto con luz como área de trabajo donde se colocaron cajas contenedoras de 120 l de capacidad. Se preparó un sustrato con estiércol seco de rumiante, dándole las condiciones adecuadas de pH neutro, temperatura de 19 ° C, humedad relativa de aproximadamente el 90%. Se insemnaron tres contenedores de plástico de 120 litros de capacidad, utilizando alrededor de 50 Kg de estiércol y 1.0 Kg de lombriz por contenedor. Después de la insemnación en contenedores se mantuvo la humedad constante, así como las condiciones mencionadas del sustrato y alimento como residuos orgánicos de la poda y deshierbe y estiércol de rumiante para la lombriz (Compagnoni, 1985). Todo el proceso tardó 63 días teniendo un incremento del 200% de individuos en etapa adulta y de un 40% de huevecillos. Posteriormente el pie de cría depositó sus huevecillos y después de 30 días se sacaron las crías de lombriz para alimentar a los ajolotes. Otro producto obtenido fue el humus, que se separó cerniendo el sustrato.

### **g.2 Producción de pulga (*Daphnia phulex*)**

En el caso de la pulga de agua, se sembró en un estanque utilizando agua tratada durante 2 semanas, que se fertilizó con estiércol seco cernido, el cual produjo una cantidad considerable de algas, debido a la disponibilidad de nutrientes. Se mantuvo un tirante de agua de 60 cm de altura, y posteriormente se sembró con pulga recolectada de los canales. Se utilizó también un fermentado de salvado de trigo como alimento para la pulga, con una concentración de 100 g/20 l de agua (Hoff y Snell, 1987), una semana después de la siembra la pulga estaba lista para ser consumida por las crías de ajolote.

### **g.3 Producción de artemia (*Artemia salina*)**

Para su producción se usaron garrafones de 20 litros de capacidad, con una concentración de 5.0 % de sal de cloruro de sodio y una temperatura de 20 °C, el pH se mantuvo entre 8 y 9. Bajo estas condiciones los quistes eclosionaron en cuatro días. Los garrafones se colocaron en un espacio donde tuvieron luz solar por espacio de unas horas durante el día. Estos se inocularon con quiste de artemia a razón de 2.5 g de quistes. Para mantener a la población fue necesario una constante aireación. La artemia se alimentó con levadura de cerveza y harina de avena o arroz (Castro, 1991).

### **g.4 Producción de acocil (*Cambarelus moctezumae*)**

Se llevó a cabo la captura de acocil en los humedales del parque, para incluirlos en la dieta de ajolotes juveniles y adultos de talla superior a 10 cm. Para cuidar las condiciones sanitarias de los organismos utilizados como alimento, una vez colectados se mantenían durante dos días en agua potable con aireación constante y con los reactivos empleados para su desinfección. También se colocó planta acuática lavada y desinfectada de dos especies (*Eichornia crassipes* y *Ceratophyllum* sp.).

### **g.5 Producción de cultivos monoespecíficos de algas (*Clorella* sp y *Selenastrum capricornatum*)**

Se produjeron cultivos "limpios" monoespecíficos de algas unicelulares, para adicionarlos a las peceras, ya que de acuerdo con Duhon (1988), existe una relación directa entre la concentración de algas y la sobrevivencia de los juveniles. Se hicieron cultivos a partir de cepas de *Selenastrum capricornatum* siguiendo los métodos de escalamiento de recipientes (Hoff y Snell, 1987). Este método consistió en colocar el inóculo en 100 ml de medio de cultivo y cuando se tuvo cierta densidad máxima se llevó a un volumen de 250 ml, 1.0 l y así sucesivamente a 4, 10 y 16 l. Para acondicionar las peceras de las crías, se utilizaron a razón de 25 ml/l. También se utilizaron para alimentar

los cultivos de pulga de agua, ya que conociendo la cantidad de biomasa producida por unidad de tiempo se realizó la extrapolación para los cultivos de pulga. Para producir estos cultivos se disolvieron los siguientes compuestos en agua: sulfato de amonio y nitrato de potasio en concentración de 1 g/l, fertilizante NPK a razón de 0.4 gr /l.

#### **g.6 Producción de alimento en estanques**

Se utilizaron tres estanques en la producción de acocil y *notonecta* y para la producción masiva de clorofíceas (*Clorella* sp y *Selenastrum capricornatum*) y cladóceros (*Daphnia phulex*). Se adquirieron estanques de fibra de vidrio de 9 m<sup>3</sup> de capacidad, por resultar estos de fácil instalación y reparación, cada estanque con las siguientes medidas: 6.0 m de largo, 2.0 m de ancho y 0.8 m de profundidad, la red de alimentación de agua de los estanques con tubería de PVC de 2.0 y 1.0 pulgadas de diámetro. El sistema de estanquería estaba equipado con mallas de protección y separación.

**h. TRATAMIENTOS CONTRA ENFERMEDADES**

Debido que alrededor del dfa cuarenta en adelante, en las crfas se presentaba una alta mortandad, se experiment6 con distintos lotes de individuos para probar diversos tratamientos y determinar el m6s adecuado para prevenir y combatir enfermedades. Se estableci6 un sistema de enfermerfa para el aislamiento de ajolotes enfermos y se aplicaron los tratamientos respectivos por perfdos de tiempo definidos. A continuaci6n se muestra el cuadro base de compuestos utilizados para el control de enfermedades en *Ambystoma mexicanum*, los cuales fueron modificados de acuerdo con su eficacia observada, tomada de Gratzek (1996)(Cuadro 4).

Cuadro 4. Tratamientos empleados para prevenir y contrarrestar enfermedades en *Ambystoma mexicanum*.

Tipo de enfermedad	Medicamento	Tratamiento dosis preventiva	Tratamiento dosis curativa
F6ngica	Nitrato de plata	10 gotas/40 l dos veces por semana	10 gotas para peceras de 40 l
Par6sitos externos (protozoarios) y f6ngicas	Verde de malaquita con formaldehido al 1%	5 gotas / 40 l tres veces por semana	en soluci6n acuosa 5 gotas/ l agua durante 5 minutos
Par6sitos externos (protozoarios) y f6ngicas	Enrofloxacina al 1%:	5 gotas / 40 l una vez por semana	dosis de 5 gotas /l, durante 5 minutos
Par6sitos externos (protozoarios)	Formalina	5 gotas / 40 l una vez por semana	Soluci6n al 0.05% durante 3 minutos al dfa
Par6sitos externos f6ngica y bacteriana	Azul de metileno Soluci6n al 2%.	2 gotas/l cada semana	de 2 gotas/l, diariamente

**A continuación se desglosa el uso de estos compuestos**

- **Nitrato de plata en solución coloidal al 1%(fungistop):** Se emplea en acuarofilia para contrarrestar enfermedades fúngicas, en particular para casos fortuitos de saprolegniosis. Se utilizaron dosis preventivas más bajas de las recomendadas (10 gotas para peceras de 40 l) dos veces por semana.
- **Verde de malaquita con formaldehído en solución acuosa al 1%:** Medicamento ampliamente utilizado en acuarofilia para el tratamiento de parásitos externos de peces (protozoarios) y enfermedades fúngicas, fue de los pocos medicamentos que dieron resultado en dosis preventivas en todos los lotes de trabajo. Formó parte de los reactivos empleados para acondicionar los acuarios después de cambios totales de agua a razón de 10 gotas en 40 l de agua y como tratamiento preventivo a dosis de 5 gotas en 40 l tres veces por semana, o únicamente una vez por semana si era necesario.
- **Azul de metileno en solución acuosa al 2%:** Se utiliza en acuarofilia para contrarrestar una gran cantidad de enfermedades, se utilizó como tratamiento preventivo y para el acondicionamiento de los acuarios después de un cambio total de agua, también en dosis pequeñas de 2 gotas/l cada semana. Se empleó también en la desinfección de alimento obtenido por colecta en los canales.
- **Enrofloxacina al 1%:** Antibiótico utilizado en veterinaria para enfermedades bacterianas de diversos animales, da buenos resultados con peces de ornato, se uso como alternativa para evitar enfermedades bacterianas y disminuir la mortandad de ajolotes, se aplicó en baños con una dosis de 5 gotas /l, durante 5 minutos cada tercer día.
- **Formalina al 1%:** Compuesto usado en la desinfección del alimento antes de ser suministrado a los ajolotes en concentración del 0.01% en el lavado 3 minutos. Utilizado como tratamiento de protozoarios externos con una concentración de 0.05% en baños de 1-3 minutos diariamente.

## **i. ESTIMACION DEL CRECIMIENTO DEL AJOLOTE**

A partir de la quinta semana de edad, dada su vulnerabilidad al manejo, se tomaron los datos merísticos de las crías durante su crecimiento. Se midieron y pesaron semanalmente una muestra de 30 organismos al azar sin extraerlos de la pecera, las medidas de longitud patrón y total, mediante un vernier con precisión de  $\pm 0.1$  cm, y el peso total de los organismos. Para evaluar el crecimiento tanto en longitud como en peso, se hicieron gráficos utilizando los registros merísticos por mes (Salgado-Ugarte, 1992; Gómez, 1994).

### **i.1 Relación peso-longitud**

Para obtener la relación peso-longitud se utilizó la siguiente ecuación potencial (Everhart y Youngs, 1989):

$$W = a (L)^b$$

donde:

$W$  = peso del individuo (g)

$L$  = longitud del individuo (cm)

$a$  y  $b$  = son constantes calculadas por medio de una regresión lineal al emplear los datos de peso y longitud patrón previamente transformados a logaritmos mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Log } W = \text{Log } a + b \text{ Log } L$$

Una vez que se obtuvo el valor de la pendiente ( $b$ ) de la regresión peso-longitud se realizó una prueba de  $t$  de Student (Marques, 1991) para definir si el valor de la pendiente era significativamente diferente o igual a 3, cuando el exponente  $b$  es igual a 3 se dice que los organismos crecen isométricamente, cuando el valor es diferente de 3 su crecimiento es alométrico.

### **i.2 Tasa instantánea de crecimiento**

Los datos de peso se agruparon por mes para calcular el crecimiento mediante la tasa instantánea de crecimiento (TIC) obtenida del modelo de coeficiente de crecimiento multiplicado por 100; y el crecimiento en peso por día (RC) expresadas en las siguiente ecuación (Ricker, 1975).

$$TIC = \frac{\ln W_{ti} - \ln W_{to}}{t_i - t_o} \times 100$$

donde:

$W_{ti}$  = peso promedio al tiempo  $t_i$

$W_{to}$  = peso promedio al tiempo  $t_o$

$T_o$  = tiempo inicial

$T_i$  = tiempo final

### **i.3 Porcentaje de peso ganado**

Para el cálculo de este valor se empleó la siguiente ecuación (Teshima *et al*, 1978):

$$\text{Peso Ganado (\%)} = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100$$

donde:

$W_o$  = peso inicial

$W_t$  = peso final

### **i.4 Factor de condición relativo**

Para determinar la condición de los organismos se trabajó con las constantes provenientes de la ecuación peso-longitud, mediante el siguiente modelo (Le Cren, 1951 en Lagler, 1952).

$$K_n = \frac{W_i}{W_i^{\wedge}}$$

donde:

$K_n$  = factor de condición relativo

$W_i$  = peso del organismo (g)

$W_i^{\wedge}$  = peso estimado de acuerdo con la ecuación de la relación peso longitud



**i.5 Modelo de crecimiento oscilatorio estacional de Von Bertalanfly (Pauly y Soriano 1992). Ajustado para la tasa de crecimiento del *Ambystoma mexicanum*, utilizando el programa FiSAT (Gayanilo et al. 1993).**

$$L_t = L_{\infty} (1 - \exp \left[ - \left[ K (t - t_0) + C \frac{K}{2\pi} \sin 2\pi (t - t_s) \right] \right])$$

Donde:

$L_{\infty}$  =  $L$  infinita

$K$  = tasa de crecimiento

$T_0$  = tiempo cero

$C$  = amplitud de la oscilación del crecimiento

$T_s$  = tiempo cuando el crecimiento es mas bajo

**j. TABLAS DE VIDA Y SOBREVIVENCIA**

La obtención de la curva de sobrevivencia se hizo mediante la construcción de una tabla de vida de acuerdo con Rabinovich (1980)(Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros de una tabla de vida

Símbolo	Definición	Cálculo
$x$	Edad	-----
$l_x$	Proporción de supervivientes a la edad $x$	$N_x / N_0$
$d_x$	Número de individuos que mueren entre las edades $x-1$ y $x$ .	$N_{x-1} - N_x$
$q_x$	Probabilidad de morir entre $x$ y $x+1$	$d_x / N_{x-1}$
$L_x$	Media de la probabilidad de sobrevivencia entre dos edades sucesivas.	$[l_x + l_{x+1}] / 2$
$T_x$	Número total de días que quedan de vida a los sobrevivientes que han alcanzado la edad $x$ ; $m$ representa la máxima edad alcanzada, observando que en la sumatoria se procede de abajo hacia arriba.	$\sum_{m-x}^x L_x$
$e_x$	Esperanza de vida (en las unidades de tiempo en que vienen expresadas las edades $x$ )	$T_x / l_x$

Donde  $N_x$  es el número de individuos vivos a cada una de las edades  $x$ ; y  $N_0 = \sum d_x$ . La columna  $l_x$  de una tabla de vida, es conocida como la probabilidad de sobrevivencia, dado que representa la proporción de individuos que estarán vivos a una cierta edad, con relación al número inicial o edad primera. La curva de sobrevivencia se obtuvo graficando los valores de la columna  $l_x$  en función de la edad.

## RESULTADOS

### Pie de cría

Se seleccionaron un total 36 individuos de *Ambystoma mexicanum* para ser utilizados como pie de cría, de los cuales 24 fueron machos y 12 hembras, en la toma medidas morfométricas se encontró que los machos registraron mayor longitud total y patrón con respecto a las hembras, con un menor coeficiente de variación para estos datos. En cambio en relación con el peso, el valor medio de las hembras fue mayor, presentando también un menor coeficiente de variación, como se muestra en el cuadro 6.

**Cuadro 6. Datos morfométricos de los organismos capturados de *Ambystoma mexicanum*, empleados como pie de cría.**

<b>Hembras N=12</b>	<b>Longitud patrón (cm)</b>	<b>Longitud total (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>
Media	12.35	21.23	120.73
Desviación estándar	1.04	3.60	11.14
Coeficiente de variación	8.39 %	16.97 %	9.23 %
<b>Machos N=24</b>	<b>Longitud patrón (cm)</b>	<b>Longitud total (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>
Media	13.65	22.3	99.73
Desviación estándar	0.95	1.28	18.04
Coeficiente de variación	6.94 %	5.73 %	18.09 %

En la adaptación de los ajolotes empleados como pie de cría, la separación de hembras y machos durante dos semanas, permitió mantenerlos en buenas condiciones de salud al estar en un ambiente con mejor calidad de agua y alimentación, asimismo se pudo observar sus hábitos alimenticios preferenciales y acondicionarlos para su reproducción en cautiverio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Inducción al apareamiento, desove y eclosión en los acuarios

Se obtuvieron diez desoves exitosos a través de la inducción por temperatura, con un número de huevos por puesta que fluctuó entre 320 y 460, con un porcentaje elevado de eclosión para la mayoría de los desoves en un intervalo de 84.5 al 93.75%, registrando un caso extremo bajo con el 39% de eclosión (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Relación de desove y eclosión en los diferentes lotes de ajolotes (*Ambystoma mexicanum*) en condiciones controladas.**

Lote	Cantidad de huevos por desove	Cantidad de huevos eclosionados	% de eclosión	Tiempo de eclosión en días
1	323	289	89.47	13
2	356	310	87.08	13
3	380	353	92.89	10
4	430	380	88.37	10
5	330	291	88.18	10
6	443	375	84.65	10
7	400	338	84.50	10
8	460	413	89.78	12
9	420	164	39.05	12
10	320	300	93.75	11
<b>Media</b>	<b>386</b>	<b>321</b>	<b>83.77</b>	<b>11</b>
<b>Desviación estandar</b>	<b>52.07</b>	<b>69.36</b>	<b>16.00</b>	<b>1.28</b>
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>13.48</b>	<b>21.58</b>	<b>19.10</b>	<b>1.53</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Inducción química al apareamiento

Por inducción con hormona gonadotropina coriónica humana (HGC) el número de huevos por desove fluctuó en un amplio intervalo entre 23 y 466 huevos, aunque la mayoría de ellos fueron infértiles, teniendo sólo para un lote el 79% de eclosión (Cuadro 8), como resultado de la no viabilidad en la respuesta de los machos inducidos con esta técnica química.

**Cuadro 8. Respuesta reproductiva del ajolote a la inducción por hormona gonadotropina coriónica humana (HGC) para *Ambystoma mexicanum*.**

Sexo	Dosis (UI) HGC	Cantidad de huevos por desove	Cantidad de huevos eclosionados	% eclosión
Hembra	0.3	466	0	no eclosión
Macho	0.3			
Hembra	0.3	109	0	no eclosión
Macho	0.3			
Hembra	0.25	288	0	no eclosión
Macho	0.25			
Hembra	0.25	620	0	no eclosión
Macho	0.25			
Hembra	0.25	124	98	79.03
Macho	0.25			
Hembra	0.25	34	0	no eclosión
Macho	0.25			

Dosis en unidades internacionales (UI) administrada por individuo

### Calidad del agua de sistema de cultivo

La temperatura media fluctuó de 19 a 20°C, los cuales estuvieron dentro del intervalo óptimo entre 18 y 20°C para el cultivo del ajolote. De acuerdo con la desviación estándar para el lote 1 se registraron temperaturas cercanas a 22 °C. Asimismo, los coeficientes de variación de este parámetro físico fueron inferiores al 10%, lo que denota un adecuado control del mismo durante el cultivo de la especie.

El oxígeno disuelto estuvo en concentraciones medias cercanas a 6 mg/l, que corresponden a un 86% de saturación, con coeficientes de variación menores al 20%.

El pH del agua fue de tipo alcalino con valores medios inferiores a 9 y con una mínima variación a través del tiempo.

En cuanto a la conductividad media fluctuó entre 1000 y 1195 µS/cm, siendo esta concentración un poco elevada de acuerdo con Arredondo (1998). Con una consecuente alta concentración en el TSD.

De acuerdo con la concentración media de amonio entre 0.84 y 1.17 mg/l para los tres lotes, el pH alcalino y las temperaturas del agua, las concentraciones registradas de nitrógeno-amoniaco fluctuaron entre 0.069 y 0.095 mg/l, que se pueden considerar de baja toxicidad para el ajolote de acuerdo con (Duhon, 1987). Aunque destaca el hecho de que el amonio presentó una alta variabilidad entre el 38 y 60%.

En cuanto a las medias de ortofosfatos fluctuaron entre 0.27 mg/l y 0.47 mg/l, que corresponden a 90 a 150 µg/l de fósforo. Estas concentraciones de fósforo le confieren al agua un carácter eutrófico de acuerdo con Arredondo (1998).

#### Cuadro 9. Condiciones físicas y químicas del agua en el cultivo de *Ambystoma mexicanum*.

Lote 1	NH <sub>4</sub> (mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)	pH	TSD (mg/l)	Conductividad (µs/cm)	O <sub>2</sub> (mg/l)	Temperatura (°C)
Media	0.87	0.27	8.46	657.00	1195.50	5.95	20.31
Desviación estandar	0.52	0.19	0.47	179.75	565.21	0.94	1.65
Coefficiente de Variación	59.43	71.01	5.53	27.36	47.28	15.71	8.10
<b>Lote 2</b>							
Media	0.84	0.47	8.35	503.25	1009.25	5.43	19.13
Desviación estandar.	0.50	0.20	0.27	245.40	488.95	1.05	2.07
Coefficiente de variación	59.92	42.64	3.23	48.76	48.45	19.34	10.80
<b>Lote 3</b>							
Media	1.17	0.34	8.14	555.63	1126.63	5.91	19.81
Desviación estandar.	0.45	0.27	0.51	206.31	468.00	0.68	1.85
Coefficiente de variación	38.03	78.25	6.29	37.13	41.54	11.49	9.34

## Estimación del crecimiento

### Relación peso-longitud

De acuerdo con la relación peso-longitud, los ajolotes del lote uno tuvo un crecimiento de tipo isométrico, dado que el valor de la pendiente no fue diferente de 3 ( $t = 0.0357$ ,  $p > 0.05$ ), mientras que el lote dos y tres presentaron un crecimiento alométrico negativo, con una pendiente menor de 3 ( $t = -7.14$  y  $t = -2.22$  respectivamente ( $p < 0.05$ ), es decir que en este caso los organismos crecieron más en longitud que en peso (Cuadro 10).

**Cuadro 10: Relación peso-longitud del *Ambystoma mexicanum*.**

Lote	Ecuación
1	$W = 0.00975 L^{3.020}$
2	$W = 0.0221 L^{2.7}$
3	$W = 0.0123 L^{2.92}$

### tasa instantánea de crecimiento

La tasa instantánea de crecimiento se evaluó a partir del tercer mes después de la eclosión, debido a la vulnerabilidad de las crías durante esta fase al manejo. En general, se observó una tendencia a incrementar el crecimiento consecutivamente hasta el sexto mes, para los tres lotes de ajolotes analizados. Los máximos registrados en este mes fluctuaron entre 2.54 y 3.78%. Después de este periodo se dio una disminución subsecuente, con mínimos entre 0.79 y 0.06 para el doceavo mes de crecimiento (Fig. 5).

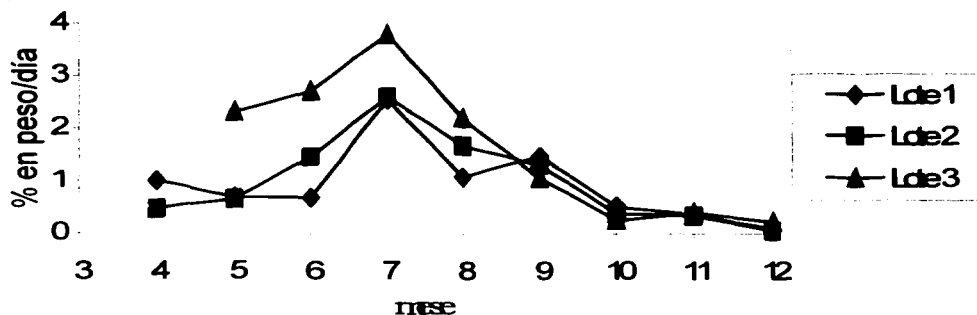


Fig. 5: Tasa instantánea de crecimiento para *Ambystoma mexicanum*.

## Porcentaje de peso ganado

En concordancia con dinámica de la tasa de instantánea crecimiento, se definió un patrón análogo del porcentaje de peso ganado. Así, para el lote tres con TIC mayores, se tuvieron porcentajes de peso ganado superiores al 100%, incluso en el sexto mes se registró un 200% de peso ganado. A diferencia con los otros dos lotes donde los porcentajes de peso ganado fueron menores al 100%, con excepción del sexto mes. A partir del séptimo mes los porcentajes disminuyeron consecutivamente para los tres lotes, con mínimos de 2.56 y 1.79 % para el doceavo mes (Fig.6).

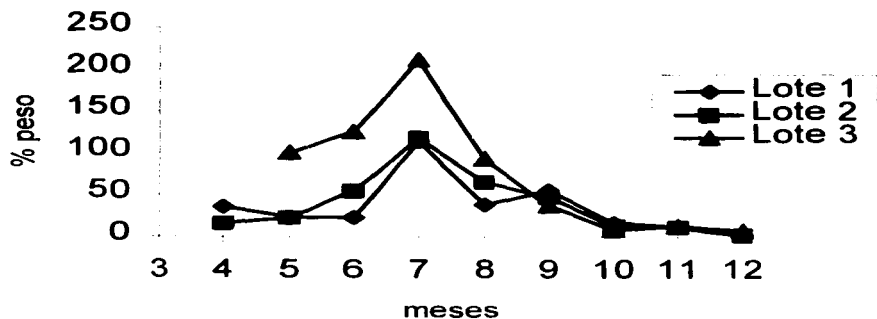


Fig 6. Porcentaje de peso ganado para *Ambystoma mexicanum*



### Factor de condición relativo

El factor de condición relativo para los tres lotes mostró una variabilidad que fluctuó entre 0.82 y 1.29. Para los lotes 1 y 3 la menor condición se registró en el quinto mes, mientras que para el lote 3 se presentó en el séptimo mes. Destaca el hecho, de que el lote 2 tuvo durante tres meses consecutivos a partir del quinto mes una condición relativa menor a la unidad. Esto se corresponde con el bajo más valor de pendiente de la relación peso-longitud (Fig. 7).

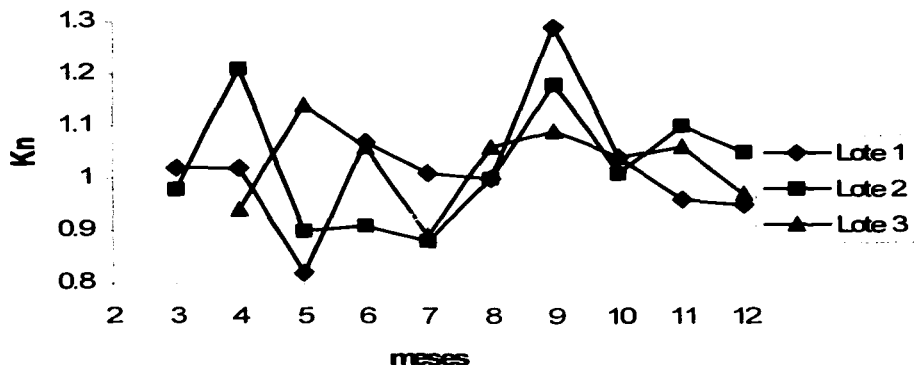


Fig. 7 Factor de Condición relativo para *Ambystoma mexicanum*

## Modelo de Crecimiento

El crecimiento de la población de *Ambystoma mexicanum* se ajustó al modelo oscilatorio estacional de Von Bertalanfy (Pauly y Soriano, 1992), la cual quedó expresada para los tres lotes de la siguiente manera:

Lote 1

$$L_t = 20.25 \left[ 1 - e^{-\left(2.141(t-0.050) + 0.516 \frac{2.141 \operatorname{sen} 2\pi (t-0.278)}{2\pi}\right)} \right]$$

$$L_t = 20.25 \left[ 1 - e^{-\left(2.141(t-0.050) - 0.00054 (t-0.278)\right)} \right]$$

Lote 2

$$L_t = 18.31 \left[ 1 - e^{-\left(3.322(t-0.037) + 0.866 \frac{3.322 \operatorname{sen} 2\pi (t-0.219)}{2\pi}\right)} \right]$$

$$L_t = 18.31 \left[ 1 - e^{-\left(3.322(t-0.037) - 0.0014 (t-0.219)\right)} \right]$$

Lote 3

$$L_t = 25.5 \left[ 1 - e^{-\left(0.958(t-(-0.233)) + 0.940 \frac{0.958 \operatorname{sen} 2\pi (t-1.00)}{2\pi}\right)} \right]$$

$$L_t = 25.5 \left[ 1 - e^{-\left(0.958(t-(-0.233)) - 0.00045(t-1.00)\right)} \right]$$

Para el crecimiento de *Ambystoma mexicanum*, se observó para el lote 1, una menor oscilación estacional comparada con lotes 2 y 3. En general la longitud asintótica se alcanza a un año de edad, sin embargo en el lote 3 se observa un ligero incremento en longitud después de ese tiempo ( Figs. 8 , 9 y 10).

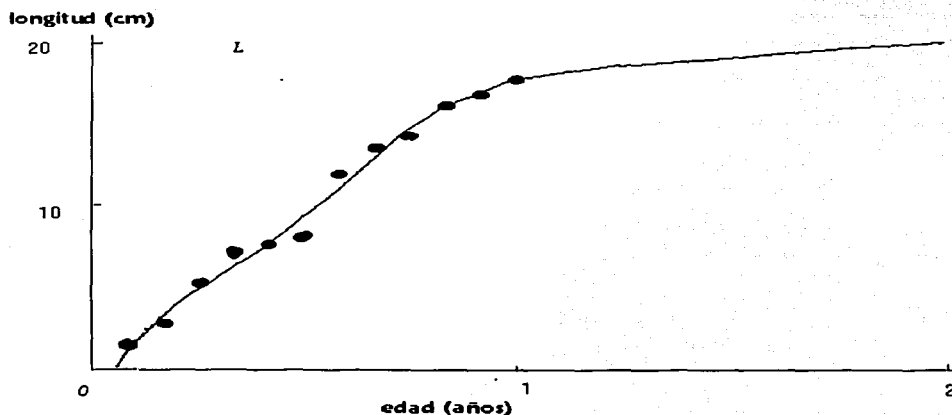


Fig.8. Función de crecimiento oscilatorio estacional de Von Bertalanfy para la población del lote 1 de *Ambystoma mexicanum*.

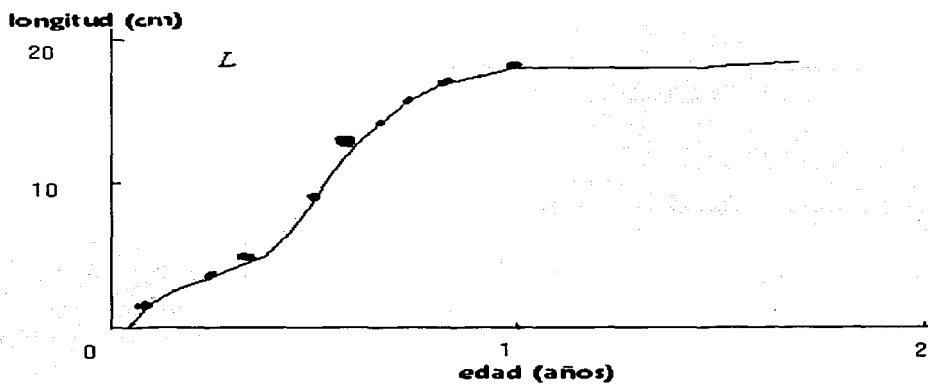


Fig. 9. Función de crecimiento oscilatorio estacional de Von Bertalanfy para la población del lote 2 de *Ambystoma mexicanum*.

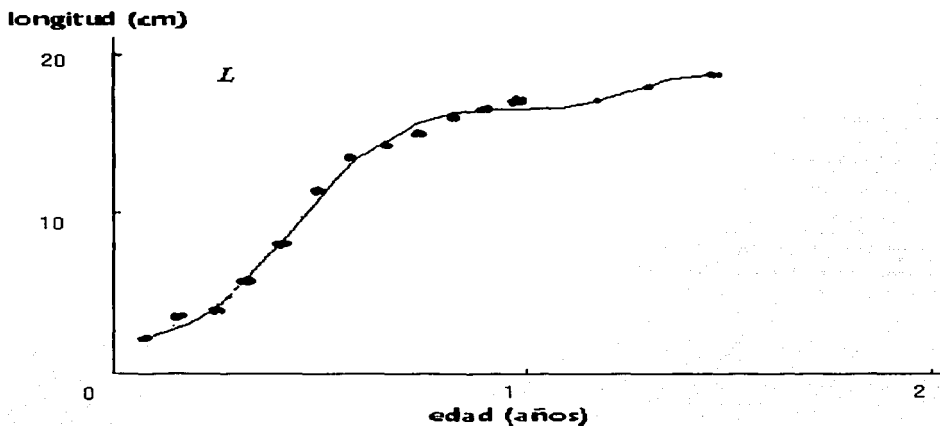


Fig. 10. Función de crecimiento oscilatorio estacional de Von Bertalanfy para la población del lote 3 de *Ambystoma mexicanum*.

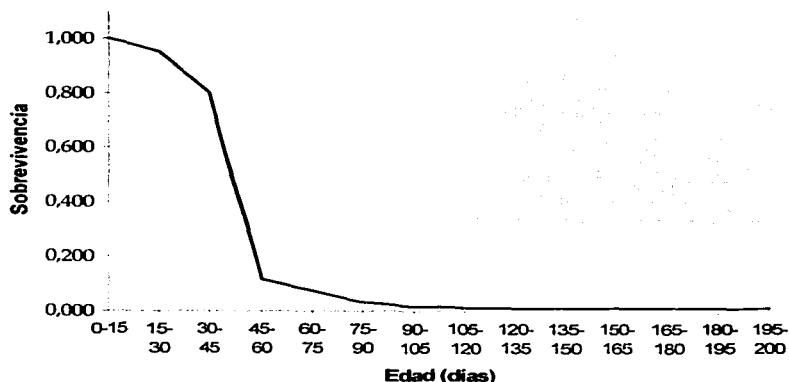
## Tablas de vida y sobrevivencia

Para tres lotes de ajolotes se realizó una tabla de vida de una cohorte, (Cuadros 11, 12 y 13), en donde se encontró que para el primer mes la sobrevivencia fue alta, cercana al 100%, posteriormente la quincena siguiente se presentó una mortalidad entre el 51% al 66% para el lote 2 y 3 respectivamente (Cuadros 12 y 13), mientras que para el lote 1 fue del 16% para el mismo periodo (Cuadro 10). La fase más crítica para la especie se presentó entre los 30 y 45 días, donde la tasa de mortalidad ( $qx$ ) registrada fluctuó entre 0.75 y 0.85 para los tres lotes. Después de este tiempo la mortalidad continuó de forma atenuada decreciente, hasta el momento en que los organismos cumplieron entre 4 y 5 meses de edad. Estas cuadros de vida definieron curvas de supervivencia del tipo IV para todos los lotes, en donde la mortalidad afectó fundamentalmente a los organismos en talla de cría (Figs. 11, 12 y 13).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

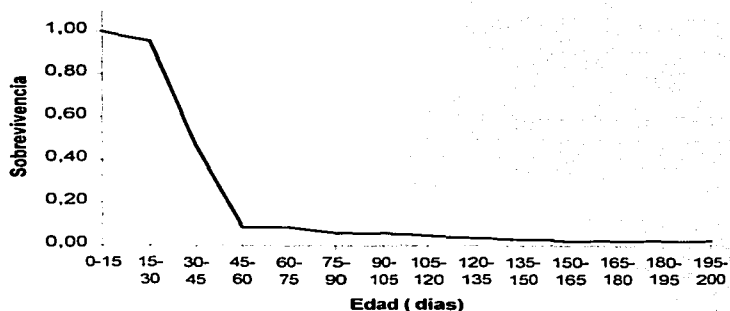
**Cuadro 11. Cuadro de vida específica para una cohorte de ajolote *Ambystoma mexicanum* hasta el inicio de la etapa de madurez (lote 1).**

Edad (x)	$lx$	$ax$	$dx$	$qx$	$\text{Log}_{10}ax$	$\text{Log}_{10}lx$	$kx$	$Tx$	$ex$
0-15	1.000	310	0.048	0.05	2.49	0.00	0.02	3.06	3.06
15-30	0.952	295	0.152	0.16	2.47	-0.02	0.08	2.06	2.17
30-45	0.800	248	0.684	0.85	2.39	-0.10	0.84	1.11	1.39
45-60	0.116	36	0.042	0.36	1.56	-0.94	0.19	0.31	2.67
60-75	0.074	23	0.042	0.57	1.36	-1.13	0.36	0.19	2.61
75-90	0.032	10	0.016	0.50	1.00	-1.49	0.3	0.12	3.70
90-105	0.016	5	0.003	0.20	0.70	-1.79	0.1	0.09	5.40
105-120	0.013	4	0.003	0.25	0.60	-1.89	0.12	0.07	5.50
120-135	0.010	3	0.000	0.00	0.48	-2.01	0.00	0.06	6.00
135-150	0.010	3	0.000	0.00	0.48	-2.01	0.00	0.05	5.00
150-165	0.010	3	0.000	0.00	0.48	-2.01	0.00	0.04	4.00
165-180	0.010	3	0.000	0.00	0.48	-2.01	0.00	0.03	3.00
180-195	0.010	3	0.000	0.00	0.48	-2.01		0.02	2.00
195-200	0.010	3						0.01	1.00

Fig.11. Curva de sobrevivencia para una cohorte de *Ambystoma mexicanum* (lote 1).

**Cuadro 12. Cuadro de vida específica para una cohorte de ajolote *Ambystoma mexicanum* hasta el inicio de la etapa de madurez (lote 2).**

Edad (x)	$l_x$	$ax$	$dx$	$qx$	$\text{Log}10ax$	$\text{Log}10l_x$	$kx$	$T_x$	$ex$
0-15	1.00	296	0.000	0.00	2.47	-0.02	0.00	2.85	2.99
15-30	0.955	296	0.484	0.51	2.47	-0.02	0.31	1.90	1.99
30-45	0.471	146	0.387	0.82	2.16	-0.33	0.75	0.95	2.01
45-60	0.084	26	0.000	0.00	1.41	-1.08	0.00	0.47	5.65
60-75	0.084	26	0.026	0.31	1.41	-1.08	0.16	0.39	4.65
75-90	0.058	18	0.000	0.00	1.26	-1.24	0.00	0.31	5.28
90-105	0.058	18	0.010	0.17	1.26	-1.24	0.08	0.25	4.28
105-120	0.048	15	0.013	0.27	1.18	-1.32	0.13	0.19	3.93
120-135	0.035	11	0.006	0.18	1.04	-1.45	0.09	0.14	4.00
135-150	0.029	9	0.010	0.33	0.95	-1.54	0.18	0.11	3.67
150-165	0.019	6	0.000	0.00	0.78	-1.71	0.00	0.08	4.00
165-180	0.019	6	0.000	0.00	0.78	-1.71	0.00	0.06	3.00
180-195	0.019	6	0.000	0.00	0.78	-1.71		0.04	2.00
195-200	0.019	6						0.02	1.00

Fig. 12. Curva de sobrevivencia para una cohorte de *Ambystoma mexicanum* (lote 2).

**Cuadro 13. Cuadro de vida específica para una cohorte de ajolote *Ambystoma mexicanum* hasta el inicio de la etapa de madurez (lote3).**

Edad (x)	$l_x$	$ax$	$dx$	$qx$	$\text{Log}_{10}ax$	$\text{Log}_{10}l_x$	$kx$	$Tx$	$ex$
0-15	1.000	338	0.00	0.00	2.53	0.00	0.00	2.82	2.82
15-30	1.000	338	0.62	0.62	2.53	0.00	0.43	1.82	1.82
30-45	0.376	127	0.28	0.75	2.10	-0.43	0.60	0.82	2.17
45-60	0.095	32	0.02	0.19	1.51	-1.02	0.09	0.44	4.66
60-75	0.077	26	0.00	0.04	1.41	-1.11	0.02	0.35	4.50
75-90	0.074	25	0.03	0.40	1.40	-1.13	0.22	0.27	3.64
90-105	0.044	25	0.01	0.13	1.18	-1.35	0.06	0.2	4.40
105-120	0.038	13	0.01	0.31	1.11	-1.41	0.16	0.15	3.92
120-135	0.027	9	0.01	0.22	0.95	-1.57	0.11	0.11	4.22
135-150	0.021	7	0.00	0.14	0.85	-1.68	0.07	0.09	4.14
150-165	0.018	6	0.00	0.00	0.78	-1.75	0.00	0.07	3.67
165-180	0.018	6	0.00	0.17	0.78	-1.75	0.08	0.05	2.67
180-195	0.015	5	0.00	0.00	0.70	-1.83		0.03	2.00
195-200	0.015	5	0.01	1.00				0.01	1.00

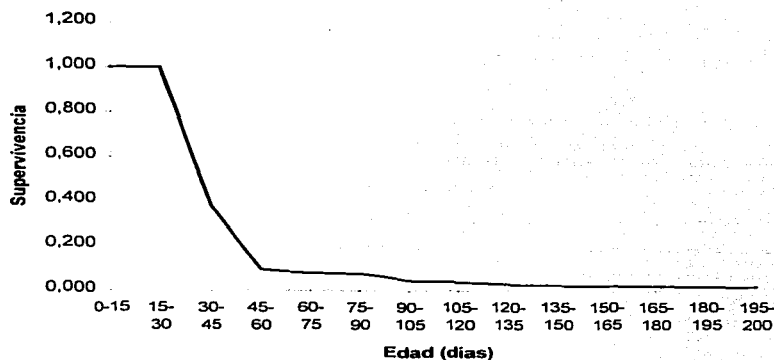


Fig. 13. Curva de Supervivencia para una cohorte de *Ambystoma mexicanum* (lote 3).



## DISCUSION

En general, los organismos seleccionados como pie de cría mostraron una buena condición de acuerdo con sus medidas morfológicas (Cuadro 6), lo que se tradujo en un adecuado estado de salud y por ende en una buena respuesta reproductiva. Destaca el hecho, de que en la época en que fueron seleccionados los reproductores, durante los meses de noviembre y diciembre era el momento en que estos estaban sexualmente maduros bajo condiciones naturales, tal como lo reporta Norris *et al* (1985) en Smith (1989b), lo que se corroboró al presentarse desoves esporádicos para algunas hembras seleccionadas.

El empleo de un mesocosmos en uno de los estanques permitió en esta unidad experimental evaluar en condiciones semicontroladas y a mediano plazo el restablecimiento de los ajolotes que se habían reproducido en los acuarios. Como resultado, los organismos se recuperaban más rápidamente y conservaban una buena salud, en comparación con los que se mantuvieron en contenedores plásticos.

En la inducción del cortejo y apareamiento en *Ambystoma mexicanum*, la técnica de la reducción de temperatura propuesta por Duhon (1988) fue la que dio mejores resultados al obtener un mayor número de desoves y porcentaje de eclosión, siendo el abatimiento térmico un factor condicionante que desencadenó la respuesta reproductiva de la especie, a saber el cortejo, fecundación y desove. Así, de los diez desoves obtenidos mediante esta técnica el porcentaje de eclosión tuvo un intervalo entre el 84.5 % y el 93.7% (Cuadro 7), con un número de huevos por puesta que fluctuó entre 320 y 460. Esta elevada eclosión respondió probablemente al uso de medicamentos preventivos contra enfermedades (azul de metileno y verde de malaquita), manejo de temperatura constante (entre 18 y 20 °C), decloración y aumento de pH con solución HFR (Cuadro 1) tal como lo recomienda Henning (1996).

Como método alternativo de estimulación al cortejo y apareamiento se utilizó la técnica de la inducción hormonal propuesta por Armstrong y Guillespie (1981), en donde a seis parejas se les aplicó 250 UI de hormona gonadotropina coriónica

humana (HCG), con la cual solamente se obtuvo un desove fértil de 124 huevos, con un porcentaje de eclosión del 79 %, el resto de los desoves fueron infértiles al no haber respuesta reproductiva del macho. Asimismo, aunque para las hembras, en todos los casos hubo maduración de ovocitos y oviposición, está varió en un amplio intervalo entre 34 y 620 huevos, de donde se infiere una respuesta diferencial de los organismos a la aplicación de la hormona (Cuadro 8). Con respecto a la inducción hormonal en machos propuesta por Duhon (1987), donde se les aplicó la misma dosis de HCG que a las hembras, no se obtuvieron resultados satisfactorios, de donde se deduce que esta hormona no tuvo un efecto significativo en la producción de espermatozoides tal como lo sugiere Armstrong y Gillespie (1981). Siendo probablemente más efectiva la inducción de tipo física, en donde sólo es necesario colocar al macho en agua helada por treinta minutos antes de ser depositado con la hembra tal como lo reporta Humphrey (1977) citado en Armstrong y Gillespie (1981).

Del desove fértil obtenido a través de la inducción hormonal, la cantidad de huevos fue reducida y se obtuvo una baja viabilidad de las crías nacidas, ya que desde los primeros días se presentó una alta mortandad. En general no se obtuvieron buenos resultados mediante esta técnica por lo que se sugiere realizar más experimentos al respecto y adecuarlo al caso particular.

Las primeras medidas tomadas para el mantenimiento de los acuarios en donde se tenían los alevines fueron el no realizar cambios de agua durante los primeros días después de la eclosión, con el propósito de evitar el estrés de los organismos y la mortandad ante alguna variación brusca en la calidad del agua. Así como posteriores cambios parciales de agua en la segunda semana después de la eclosión, lo que permitió una alta supervivencia en las fases de alevín y cría hasta las primeras cinco semanas. Sin embargo, después de este periodo existió una elevada mortandad durante la sexta semana de edad, momento en el que se presentaba una enfermedad dérmico degenerativa cuyos síntomas eran la pérdida drástica del peso, un posterior curvamiento de la cola y debilidad general que se reflejaba en la

reducción de su motilidad. Esta enfermedad aparecía repentinamente en cada lote disminuyendo la población en pocos días, como se muestra en las tablas de vida (Cuadros 11, 12 y 13; Figs. 11, 12 y 13).

En los ajotes empleados como pie de cría se detectaron la presencia de ectoparásitos (*Lernea sp.*) los cuales tienen un efecto negativo para los vertebrados nectónicos y bentónicos. Brothers (1997) señala que el ataque por enfermedades micóticas y bacterianas es muy común en larvas de *Ambystoma mexicanum*. Asimismo Redondo (1999) aisló del cuerpo de ajolotes mexicanos tres especies de bacterias *Pseudomonas (putida, cepaciae y fluorescens)* las cuales son consideradas oportunistas y probables agentes etiológicos del cuadro infeccioso caracterizado como dermonecrosis focal con ulceraciones, cuyos síntomas fueron muy similares a los registrados en la colonia de ajolotes del PEX.

Los canales de la zona son cuerpos lénticos alimentados con agua residual tratada, al ser el alimento vivo recolectado de estos canales la dieta suministrada a los ajolotes a principios del proyecto, se deduce que esta pudo ser el agente causal en la transmisión de enfermedades. Redondo (1999) al analizar el agua de los canales además de las bacterias antes mencionadas, también registro colonias de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

Para contrarrestar la mortandad de las crías se aplicaron las siguientes medidas: se mantuvo un sistema de filtración y aireación constante, para lograr una buena oxigenación del agua y contrarrestar los incrementos esporádicos en la concentración de amonio en los acuarios. Asimismo, conjuntamente con los cambios parciales de agua se emplearon medicamentos como el verde de malaquita y azul de metileno observando que se frenaba el brote de enfermedades; otra medida más que ayudó a solucionar el problema, fue el uso de la solución Holtfreter (HFR), la cual evitó la presencia de hongos, bacterias y parásitos, al modificar el pH del agua (Cuadro 9) y aumentar la presión osmótica en el medio acuoso tal como lo reporta Hening (1996). Esta resultó ser un tratamiento efectivo para contrarrestar la enfermedad dérmica de los ajolotes y mantenerlos en condición de salud estable, lo que coincidió con lo reportado por Brothers (1997).

Otra causa probable de mortandad de los ajolotes, fue la sobrepoblación en los acuarios, que ocasionaba el estrés en las crías, y provocaba el aumento momentáneo de la concentración de amonio en el agua originado por los productos de excreción y del alimento no consumido que se degradaba. Así, como una estrategia para la corrección de la densidad poblacional por acuario, se consideraron los requerimientos de espacio para las crías de *Ambystoma mexicanum* (Cuadro 2), propuesto por Brothers (1997). Así, se trabajó con lotes de 30 crías recién eclosionadas en peceras de 20 l; a los 2 cm de longitud se colocaron de 5 a 6 individuos, después de los 6 cm de talla se mantuvieron en recipientes individuales y finalmente cuando los animales alcanzaban de 9 a 10 meses de edad eran trasladados en contenedores de mayor tamaño, con 20 cm de profundidad.

En los juveniles de mas de 6 cm en donde había asimetría de tallas se presentaron casos de canibalismo, por lo que se realizó la separación de los organismos de acuerdo con su tamaño. Esta medida favoreció además un rápido crecimiento de los ajolotes, así como un mayor control sobre su mantenimiento y observación.

Otra alternativa que auxilió para controlar la sanidad de los ajolotes fue mediante el establecimiento de un sistema de enfermería, el cual consistió en el aislamiento de los individuos enfermos, donde se aplicaban fármacos con carácter curativo tales como antibióticos: enrofloxaxina, azul de metileno, verde de malaquita y otros compuestos (nitrato de plata, permanganato de potasio y formalina), obteniendo resultados parciales, al no encontrar uno que fuera 100 % eficiente (Cuadro 4).

Con respecto a la utilización de las algas para el acondicionamiento de los acuarios, no se tuvieron resultados concretos sobre su influencia en la reducción de la mortandad de las crías tal como lo propone Duhon (1989), ya que crea ciertas condiciones sinérgicas para el sistema acuícola del ajolote, al tener un efecto terapéutico, como antibiótico natural según lo propuesto por Hoff y Snell (1988). Sin embargo, los cultivos de algas cumplieron con la finalidad de alimentar al zooplankton utilizado en el proyecto (*Daphnia* y *Artemia*).

Para la alimentación de los ajolotes según Duhon (1987) es importante proporcionar una dieta variada para cada etapa de su desarrollo en cantidades adecuadas. Por lo que fue necesario instrumentar la producción de alimento vivo mediante el cultivo de *Artemia salina* y pulga de agua (*Daphnia pulex*) suministrando nauplios de ambas especies para la etapa de cría de los ajolotes, los cuales resultaron adecuados por su tamaño y motilidad. Asimismo, en las primeras tres semanas de desarrollo de la población se les proporcionó una mayor cantidad de alimento "ad libitum", posteriormente el no consumido se retiraba con redes finas para evitar focos de contaminación. Para los juveniles de 3 semanas en adelante, además de darles la pulga de agua, también se adicionaron mosco de agua, un hemíptero (*Notonecta* sp.). A partir de los 5 cm de longitud (alrededor de los 80 días de edad) y cuando alcanzaron los 8 cm su dieta consistió básicamente en notonectas, complementada con acocil (*Cambarelus moctezumae*), charal (*Chirostoma jordani*) y lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) (Cuadro 3). La lombriz no fue bien aceptada por los ajolotes juveniles comparativamente con el acocil y el charal, proporcionándoles ésta solo tres veces por semana, con lo que se buscó que se acostumbraran a esta dieta, y fuera su alimento complementario como lo recomienda Armstrong y Malacinski (1989).

La producción de alimento, mediante los cultivos de *Eisenia foetida*, *Artemia salina* y *Daphnia pulex* mejoró la alimentación para las primeras etapas de desarrollo de los ajolotes. Sin embargo, estos cultivos fueron insuficientes, ya que un 60 % de alimento que se utilizó fue colectado directamente de los canales. Del mismo modo los estanques funcionaron bien en la producción de acocil y notonecta y para la producción masiva de clorofíceas (*Clorella* sp. y *Selenastrum capricornatum*) y cladóceros (*Daphnia pulex*).

Para el proyecto se utilizó agua potable por ser la de mejor calidad, se uso para los acuarios de reproducción, desove y eclosión y desarrollo del ajolote, los parámetros analizados estuvieron dentro del intervalo de concentraciones necesarias para el desarrollo de la especie (Duhon, 1988), ya que no se encontró una variación importante a través del tiempo, con excepción del amonio cuya concentración se disparó en ciertos momentos (Cuadro 9), lo que resulta otro factor condicionante en la

mortalidad de organismos acuáticos (Laird, 1988).

Los valores promedios y desviaciones estándares de los parámetros determinados, tales como: pH, amonio, fosfatos, conductividad y coliformes totales, todos ellos se encuentran dentro del rango permisible de acuerdo con Bardach (1986). Las trazas de cloro del agua potable, fueron eliminadas con una solución de tiosulfato de sodio y aireación constante. Asimismo la componente iónica predominante en este tipo de agua (bicarbonatos, calcio y magnesio) estableció las características de alcalinidad y durezas en valores intermedios de acuerdo a Tebbutt (1993), lo que la hace apta para el cultivo de la especie.

El pH promedio tuvo un valor cercano a la neutralidad de 7.4, en los acuarios este parámetro se incrementó muy poco, por los procesos metabólicos del microsistema tales como: productos de excreción nitrogenados y degradación de la materia orgánica de los remanentes de alimento utilizado, principalmente pulga de agua. A partir de julio el pH se incrementó hasta valores promedio de 7.9-8.2 por la utilización de la solución de sales HFR, este rango de pH es el ideal, según lo reportado por Fremery *et al* (1989).

Al principio el agua tratada directa del afluyente utilizada en los estanques, presentó algunas limitantes para su uso directo, tales como: una alta concentración de nutrientes, repentinas descargas de aguas cloradas (utilizado en las plantas de tratamiento de aguas residuales), el cual resulta tóxico al reaccionar con la materia orgánica. Debido a estos problemas se optó por utilizar agua potable, además de procurar un flujo de agua y aireación constante, lo que se reflejó en una mejora en las condiciones del sistema.

Para el crecimiento de la población de *Ambystoma mexicanum* en tres lotes se encontró un comportamiento similar, ajustándose la longitud total al modelo de crecimiento oscilatorio estacional de Von Bertalanffy (Figs. 8, 9 y 10) cuyas fluctuaciones pueden deberse principalmente a variaciones drásticas de la temperatura y/o del suplemento alimenticio de acuerdo con Pauly y Soriano (1992). Sin embargo, en el sistema de acuarios la temperatura se mantuvo constante de 20° C

en promedio, siendo evidente que el factor que limitó el crecimiento tanto en longitud como en peso de las poblaciones de ajolote fue el alimento, no tanto en cuanto a su disponibilidad sino a su calidad, asociado a momentos críticos donde se produjeron enfermedades que mermaron a la población, con reducciones importantes en las tasas de crecimiento.

De acuerdo con este modelo, el crecimiento de los ajolotes se hace asintótico casi a partir del año de edad, obteniendo longitudes máximas entre 18 y 25 cm, las que se aproximan a las tallas de los mismos en condiciones naturales, como fueron las registradas para los reproductores de 21.23 cm para las hembras y 22.3 para los machos.

Cabe destacar, que los modelos obtenidos no hacen distinción de sexos, lo que puede dar un cierto sesgo en el modelo, dado que las hembras son de mayor tamaño que los machos, alcanzando los 30 y 24 cm de acuerdo con Cedreno (1972) y Fremery *et al* (1989).

Desgraciadamente no existe información publicada que permita contrastar lo obtenido en condiciones controladas con el desarrollo de las poblaciones en sus hábitats naturales. Sin embargo, resalta el hecho de que dadas las características de calidad de agua tendientes al óptimo para la especie, y la adición de alimento vivo favoreció un crecimiento que se podría considerar en lo general como adecuado para los organismos de esta primera generación que sobrevivieron a lo largo del período de estudio. Además cabe destacar, que los ajolotes desarrollados en cautiverio comenzaron a reproducirse a los trece meses, un mes posterior al último muestreo.

La tasa instantánea de crecimiento máxima fluctuó en un intervalo entre 3.79 % en peso y 6.03 % en peso durante la fase de juvenil, probablemente esta fuera mayor en la etapa de alevín. Sin embargo, por razones de manejo no se estimó pertinente obtener los datos de peso en este período. Como se observa en la Fig. 5, hubo una reducción drástica del noveno al décimo mes. Asimismo existieron variaciones mensuales considerables para los tres lotes, lo que implicó incrementos y decrementos, resultado de los cambios de dieta a través del tiempo, o de las condiciones de salud del ajolote.

El porcentaje de peso ganado para la especie fue muy alto en sus primeros etapas de desarrollo, que fue cercano al 200 y 300% para los diferentes lotes, después de los diez meses se dio un decremento consecutivo hasta el último mes de estudio (Fig. 6), lo que correspondió a la etapa final del estado juvenil e inicio de la etapa adulta.

De acuerdo con la relación peso-longitud se encontró que el crecimiento para la especie fue de tipo isométrico en el lote 1, lo que representó una proporcionalidad entre la longitud y el peso. Mientras que en los lotes 2 y 3 el crecimiento fue de tipo alométrico negativo, donde se encontró un mayor crecimiento en longitud que en peso, lo que puede reflejar problemas nutricionales en los organismos de estas poblaciones (Cuadro 10).

La condición relativa de los diferentes lotes de ajolotes (Fig. 7) mostró una correspondencia con la relación peso-longitud. Así para el lote dos que registró una condición menor de uno durante tres meses consecutivos, tuvo el menor valor de pendiente de esta relación, la cual define un crecimiento alométrico negativo. Para los lotes 1 y 3 la menor condición relativa se obtuvo en el quinto mes, esto se asocia al momento en que se presentaba la mayor tasa de mortandad por enfermedad de los organismos. Durante los meses consecutivos se podría considerar que la condición que mantenían los ajolotes sobrevivientes era en general buena.

Los resultados de cuadro de vida (Cuadros 11, 12 y 13) para los diferentes lotes de *Ambystoma mexicanum* corrobora que la mayor mortalidad se presentó entre los 30 y 45 días de edad, donde la tasa de mortalidad ( $qx$ ) fue máxima en un intervalo de 0.75 a 0.85, por efecto del brote de una enfermedad dérmico degenerativa anteriormente citada, que se puede atribuir a problemas de tipo nutricional, al suministrar en esta etapa alimento mono-específico *Daphnia pulex* y *Artemia salina*, o como respuesta a un fenómeno de densodependencia, o por efecto de problemas en periodos cortos en el control de la calidad del agua. Posteriormente, la mortalidad se redujo considerablemente a partir de los 90 días, con una supervivencia cercana al 100%. Asimismo, después de la eclosión y durante un período de 15 días la



mortalidad fue mínima ( $qx \leq 0.05$ ), la cual se incrementó de manera importante hasta el día 45.

Al obtener las curvas de sobrevivencia (Fig. 11, 12 y 13) de las poblaciones se encontró un comportamiento similar al caracterizado por el tipo IV, y una estrategia típica r la cual representa una población en donde la mortalidad afecta fundamentalmente a los animales jóvenes de la población, cuando se han superado las etapas juveniles las mortalidades se reducen de forma considerable (Ravinovich, 1980).

La mayor variación en la esperanza de vida en función de la edad tiende a ser de tipo decreciente, pero suelen manifestarse ciertos máximos o pequeños picos que demuestran las edades críticas de la población en términos de los riesgos de mortalidad. Para el caso particular las esperanzas de vida fueron muy fluctuantes con máximos de 6 y mínimos de 1, existiendo una cercana correspondencia con las etapas críticas para el desarrollo de las poblaciones.

## CONCLUSIONES

- En la inducción del cortejo y apareamiento en *Ambystoma mexicanum*, la técnica de la reducción de temperatura fue la que dio mejores resultados al obtener un mayor número de desoves siendo el abatimiento térmico un factor condicionante que desencadenó la respuesta reproductiva de la especie.
- La inducción del desove mediante el tratamiento hormonal, afectó positivamente la posibilidad de ovulación en las hembras con dosis de 250 UI de HGC, no encontrando ninguna respuesta para los machos, al obtener desoves infértiles.
- El uso de la solución Holtfreter fue una medida preventiva que ayudó a disminuir el brote de enfermedades y por consiguiente la mortalidad, lo que contribuyó al buen desarrollo de las crías. Mientras que para el tratamiento y control de enfermedades por protozoarios, hongos y bacterias, el mejor método fue a través de los sistemas de enfermería en los que se obtuvo efectividad en los tratamientos curativos, siendo los más efectivos el uso de soluciones de sal, verde de malaquita y formalina.
- La población de *Ambystoma mexicanum* presentó un crecimiento en longitud de tipo oscilatorio estacional de Von Bertalanfly, cuya fluctuación sé debió principalmente a variaciones de tipo alimenticio haciéndose asintótico a partir del año de edad con una máxima entre 18 y 25 cm y máximos de, 54 y 74 g respectivamente.
- De acuerdo con la relación peso-longitud se encontró que el crecimiento para la especie fue de tipo isométrico en el lote 1, lo que representó una proporcionalidad entre la longitud y el peso, que en términos generales se considera como el ideal. Mientras que en los lotes 2 y 3 el crecimiento fue de tipo alométrico negativo, donde se encontró un mayor crecimiento en longitud que en peso, lo que puede reflejar problemas nutricionales en los organismos de estas poblaciones.

- La condición relativa de los diferentes lotes de ajolotes mostró una correspondencia con la relación peso-longitud. Así para el lote dos que registró una condición menor de uno durante tres meses consecutivos, tuvo el menor valor de pendiente de esta relación. Para los lotes 1 y 3 la menor condición relativa se obtuvo en el quinto mes, esto se asocia al momento en que se presentaba la mayor tasa de mortandad por enfermedad de los organismos. Durante los meses consecutivos se podría considerar que la condición que mantenían los ajolotes sobrevivientes era en general buena.
- El porcentaje de peso ganado para la especie fue alto en las primeras etapas de desarrollo superior al 200%, con un decremento consecutivo a partir del décimo mes de crecimiento, lo que corresponde a la etapa final del estado juvenil e inicio de la etapa adulta.
- La tasa instantánea de crecimiento máxima para el ajolote correspondió a la fase juvenil, con variaciones mensuales considerables, resultado de los cambios de dieta a través del tiempo y de las condiciones de salud.
- La mayor tasa de mortalidad en la población se registró entre los 30 y 45 días de edad, como resultado de brotes de enfermedades dérmico degenerativa, atribuida probablemente a ataques bacterianos, deficiencias nutricionales o por efecto de competencia por espacio.
- Las poblaciones de ajolote presentaron una curva de supervivencia del tipo IV, aunque los organismos estaban en la etapa juvenil al momento en que la mortalidad fue baja. La esperanza de vida fue fluctuante a través del tiempo, con máximos de 6 y mínimos de 1.
- El incremento repentino en la concentración de amonio fue un factor condicionante de la mortalidad en la especie, los demás parámetros evaluados se encontraron dentro de los intervalos permisibles para el cultivo de esta especie.

## RECOMENDACIONES

- El mantenimiento de los acuarios debe ser continuo para conservar la colonia saludable y evitar brotes de enfermedades.
- Es necesario instrumentar nuevos cultivos de alimento vivo que sean factibles de realizar, con altos valores nutricionales y que se produzcan en cantidad suficientes para cubrir la demanda alimenticia en cada una de las etapas de desarrollo de los ajolotes, estos cultivos deben incluir pequeños peces (poecilidos o aterínidos), larvas de insectos y microcrustáceos.
- La densidad de los organismos debe ajustarse de acuerdo con la talla del ajolote al ser un factor determinante en el desarrollo y sobrevivencia de los mismos, ya que al tener un buen espacio se logra un mejor crecimiento, se evita el canibalismo, y disminuye la cantidad de desechos, evitando brotes de enfermedades.
- Dar continuidad al proceso de selección del banco de genoma de *Ambystoma mexicanum*, a partir de la colonia de reproductores nacidos en cautiverio (F1).
- Dar seguimiento a la cohorte (F2), para cuantificar tasas de mortalidad, tablas de vida, sobrevivencia, esperanza de vida, fecundidad, evaluación del crecimiento, obtener el factor de condición simple, la relación peso longitud, tasa instantánea de crecimiento, porcentaje de peso ganado para esta cohorte.
- Cultivar desde su etapa juvenil a adulta el ajolote en estanques determinando la tasa de crecimiento específica y el factor de condición de la especie confinada en el mesocosmos.
- Para los ajolotes en su hábitat natural calcular la densidad poblacional por el método de captura y recaptura, factor de condición, relación peso longitud, así como conocer la dinámica poblacional en su hábitat natural.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Repoblar los sistemas lacustres del Parque Ecológico de Xochimilco, con la finalidad de establecer una zona reserva para la especie, como una estrategia para su conservación.
- Continuar con el análisis de parámetros físicos y químicos: oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad, nutrimentos, en los diferentes módulos de la unidad de producción.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**LITERATURA CITADA**

- Aguirre, J. y Estévez J. 1992. Estudio edafológico detallado en el Parque Ecológico de Xochimilco. Memorias del Primer Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco. Tomo I, PPEX. México. 384 pp.
- APH, WWWA. WPFC. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19<sup>a</sup>. ed. New York, 1234 pp.
- Arredondo, F. J. L. 1998. Calidad del agua en acuacultura conceptos y aplicaciones, A. G. Editor S.A. México. 222 pp.
- Armstrong, J., Malacinski G. y Duhon. S. 1989. Raising the axolotl in captivity. Developmental biology of the axolotl. Axolotl Newsletter, Indiana University. Indiana. 18: 37-39.
- Armstrong, J. Malacinski G. 1989. Developmental biology of the axolotl. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 19: 22-24.
- Armstrong, J. y L. Gillespie. 1981. Induced Spawings and artificial insemination the axolotl. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 10: 1-2.
- Arredondo, F. J. L. 1986. Piscicultura, Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de calidad del agua, en estanques de piscicultura intensiva. Secretaría de Pesca, 182 pp.
- Borion, M. y G Robert, 1983. La vida de los reptiles y anfibios, Introducción a la naturaleza. 4<sup>o</sup> ed. Esparsa Calpe. Madrid. 84 pp.
- Bardach, J. 1986. Acuacultura: crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce. AGT. México. 741 pp.
- Bojorquez, L. 1991. Situación ecológica y perspectivas del ecosistema lacustre Xochimilco. Rescate de Xochimilco. UAM Xochimilco, 63-81.
- Brothers, A. J. 1997. Instructions for the care and feeding of axolotl. Developmental Biology of axolotl. Axolotl Newsletter. Indiana University. Indiana. 3: 9-16.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Calderón, S. I., A. y D.M.T Rodríguez. 1986. Estado actual de las especies del género *Ambystoma* (*Amphibia*; Caudata), de lagos y lagunas del eje neovolcánico central. Tesis: ENEP Iztacala. UNAM. 88 pp.
- Casas, A. G. 1979. Anfíbios y reptiles de México. Limusa. México. 222 pp.
- Castro, M. J. 1991. Manual de técnicas para el manejo de quistes de *Artemia* sp, 1ª ed. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 58 pp.
- Cedreno, L. 1972. Zoología hispanoamericana, Vertebrados. Porrúa. México. 170 pp.
- Cochran, D. M. 1968. Type specimens of reptiles and amphibians in the USA National Museum Bulletin 220. U. S. Natl. Museum. 345 pp.
- Compagnoni, L. Y. 1985. Cría moderna de lombrices y utilización rentable de humus de Vecchi. Omega. Barcelona, 220 pp.
- Duhon, S. 1987. Short guide to axolotl husbandry. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 16: 40-44.
- Duhon, S. 1988. Short guide to the care and feeding of axolotls. An overview of the methods used Indiana University. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 17: 15-18.
- Duhon, S. 1997. The axolotl and its native habitat yesterday and today. Indiana University axolotl colony. Indiana. 26: 14-17.
- Ensastigue, L. J., J. L Aguirre, y Alvizo. G. G. 1998. La calidad del agua del Parque Ecológico de Xochimilco. Memorias del Segundo Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco. México. 230 pp.
- Eisthen, H. L. 1989. Cortship and mating behavior in the axolotl. Axolotl Newsletter. Indiana University. Indiana. 18: 18-21 pp.
- Everhart, W. H. y W. D. Youngs. 1989. Principles of fishery science. Comstock Publishing Associates. New York. 349 pp.
- Fremery, R., Verhoeff J. Griffin y H.C. Mc Gregor, 1986. The UFAW Arktbook on the care and managment of laboratory animals. 6º edition. Longrnan Scientific and technical United Kingdoom. 290 pp.

- Fox, W. 1984. Factors influencing axolotl spawning at Develomental Biology. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 13: 26-27.
- Gayanillo, Jr, F C., Sparre P. y Pauly D. 1993. The FiSAT Users Guide FAO Rome. 71.
- García, E., 1981. Modificación al Sistema de Clasificación de Koppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 3a edición. Ofset Larios. México, 252 pp.
- Garcia-Calderon, J. L., y Cabrera-Jimenez, J. A 1990. La acuacultura, definición y limites 3-14. In: La acuacultura en México, De los conceptos a la producción, Instituto de Biología, UNAM. 316 PP.
- Gómez, M. J. L. 1994. Métodos para determinar la edad de los organismos, FES-Zaragoza, UNAM, México. 89.
- Graue, W. V. 1998. Estudio genético y demográfico de la población del anfibio *Ambystoma mexicanum* (*Caudata ambystomidae*). Tesis doctoral. Instituto de Ciencias del Mar. UNAM. 106 pp.
- Gratzek, B. J. 1996. Acquareology, Volumen maestro de Tetrapress. New Jersey. 330 pp.
- Henning, A. 1996. Corwin Lab. Axolotl Protocols. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 25:18-20.
- Hoff, H. F. y Snell, 1987 Plankton culture manual, Florida Acua farms Inc. Florida City, 139 pp.
- Laird, L. M. 1988. Salmon and trout farming, Ellis worwood series in acuaculture and fisheries support. Laird and Needman, London. 320 pp.
- Lagler, K. F. 1952. Freshwatwer fshery biology. WMC. Brown Company Publishers. Iowa. 421 pp.
- Márquez, C., m. J. 1991. Probabilidad y estadística para ciencias químico-biologicas . Mc Graw Hill. México. 657 pp.
- Miranda, G.S. 1987. El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas. Revista de Ingeniería Hidráulica en México, SARH. N°. Especial. 34 pp.



- Meade, J. W. 1985, Allowable amonia for fishculture, prog. Fish-cult. 47: 135-145.
- Pauly, D. y Soriano B.M., 1992. A new model accouting for seasonal cessation of growth in fishes; Australian Journal of Marine Freswater Research. 43,1156.
- Rabinovich. J. 1980. Ecología de poblaciones animales. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico. Organización de Estados Americanos. IVIC. Caracas. 114 pp.
- Redondo N. 1999. Aislamiento de bacterias asociadas con infecciones en cultivo de ajolote (*Ambystoma mexicanum*), Hidrobiológica 9 (1): 9-14.
- Ricker, W.F. 1975. Computaion and interpretation of biological statics of fish populations. Bull fish res. Board. 382 pp.
- Rojas, R. T. 1995. Presente pasado y futuro de las Chinampas. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México D.F. 324 pp.
- Salas, S. I. 1998. Estudio de la Vegetación del Parque Ecológico de Xochimilco. (Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México). 86 pp.
- Salgado-Ugarte, U. I. H. 1992. El análisis exploratorio de datos biológicos Fundamentos y aplicaciones. FES. Zaragoza, UNAM. Ediciones Marc. México. 243 pp.
- SEMARNAP, Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL/1994 del Diario Oficial de la Nación. 16 de mayo de 1994.
- Shaffer, H. 1989. Natural history, ecology and evolution of the mexican axolotls. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 18: 5-8. pp.
- Shaffer, H. 1993. The axolotl laboratory (*Amystoma mexicanum*) Biología sistemática, Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 22: 22-17.
- Slack, J.M.W. 1983. How gel eggs out of axolotls. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 13: 28.

- Smith, H. M. 1971. Sinopsis of the herpetofauna of México, analisis literature on the mexican axolotl. Eric Lundberg, West Virginia. 69 pp.
- Smith, H. M. 1989a. The axolotl in its native habitat. Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana. 18: 12-17.
- Smith, H.M. 1989b. Discovery of the axolotl and its early history in biological reserch; Axolotl Newsletter. Indiana University. Indiana. 18: 3-11.
- Tebbutt, T. 1993. Fundamentos de control de la calidad del agua. Editorial Limusa. México. 239 pp.
- Teshima, S., Ojeda G.G. y Canazawa A. 1978. Nutritional requeriments of *Tilapia*. Utilization of dietary protein by *Tilapia*. Fish Kagoshima. Univ. 27. 1: 49-57.
- Tepayotl, S. M. C. 1999. Evaluación de la diversidad y distribución de la fauna residente y migratoria del Parque Ecológico de Xochimilco (Tesis de licenciatura. FES. ZARAGOZA. UNAM. México). 58 pp.

## BIOLOGIA DE LA ESPECIE

### CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Clase: Anfibia

Orden: Urodela

Familia: Ambystomidae

Género: *Ambystoma*

Especie: *mexicanum*



Figura 12. *Ambystoma mexicanum*

### Distribución

La distribución original del *Ambystoma mexicanum* (Figura 2) se remonta al lago extenso y somero que durante el pleistoceno cubría lo que actualmente se denomina la cuenca de México (que estaba dividido en seis sectores: Chalco, México, Texcoco, Xaltocan, Zumpango y Xochimilco) alimentado en esa época por manantiales, precipitación pluvial, agua de deshielo de los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl (Duhon 1997). En la actualidad, esta especie se encuentra restringida a

los canales que aún existen del antiguo lago de Xochimilco (Smith 1971; Casas 1979).

Los Ambystomides en México comprenden un grupo de 17 especies reconocidas actualmente, confinados a latitudes altas y medias en regiones del norte y centro de México. Las salamandras ambystomatides, se encuentran distribuidas en México a lo largo de la Sierra Madre Occidental y el Eje Volcánico Transverso; por arriba de los 1600 metros de elevación. Estas áreas junto con el borde sur de la planicie mexicana, son zonas para su estudio, dispersión y ecología (Shaffer, 1989).

### Morfología

*Ambystoma mexicanum* se puede distinguir de otras especies del género por sus características externas, son de cuerpo alargado, apertura bucal grande, ojos pequeños, branquias externas prominentes, posee cuatro extremidades con cuatro dedos en las patas delanteras y cinco en las posteriores, presenta coloración gris oscuro con numerosas manchas negras, las larvas jóvenes son de tonalidad verde, amarillo u olivo claro que se van obscureciendo con la edad (Cendreno, 1972).

Dos de las primeras observaciones realizadas en laboratorio, descubren que en el ajolote, se desarrollan modelos patrón de la metamorfosis y la pigmentación, ambos mecanismos son extremadamente variables y son importantes dentro de los niveles ínter e intraespecíficos en estudios de filogenia (Shaffer, 1993).

La hembra es de mayor tamaño comparada con el macho, ya que alcanza los 30 centímetros de longitud por 24 cm del macho (Cendreno, 1972; Fremery *et al*, 1986).

La piel es lisa y suave, la mucosa de la piel es una secreción espumosa y pegajosa, neutra o alcalina, su función principal es proteger la piel de la desecación, permitiendo la respiración que no pueden realizarse en una piel seca, ya que no sólo respiran a través de las branquias sino que el intercambio de gases también se realiza por la piel al estar en el agua y a través de las membranas

mucosas de la boca y garganta. Así mismo mantiene la presión osmótica interna del cuerpo dentro del agua (Armstrong, et al 1989).

La columna vertebral está dividida en cinco grandes regiones: cervical, dorsal, sacra, sacrocaudal y caudal. Las extremidades tienen todas las características de los vertebrados; las patas delanteras están unidas a la cintura torácica que no se articula con la columna vertebral y las patas traseras o posteriores a la cintura pélvica articulada con una vértebra sacral. Tienen cuatro dedos en las patas anteriores y cinco dedos en las posteriores, no poseen uñas. Los adultos poseen dientes prevomerianos arreglados en una línea transversal (Borion y Robert, 1983).

### **Conducta de cortejo y reproducción**

Generalmente en los urodelos las secreciones químicas de diversas glándulas juegan un papel importante en el apareamiento. Existe un cortejo que tiene como resultado la secreción del espermatozoo por el macho, secretado por las glándulas cloacales, el espermatozoo tiene la forma de un cono gelatinoso y lleva el espermatozoo en la punta. El huevo del ajolote es poliespérmico como el de los demás urodelos, es decir, que varios espermatozoides lo penetran. La fertilización es interna, cuando se aparean el macho deposita el espermatozoo en el piso y la hembra lo recoge con los labios de la cloaca, los guarda en unos divertículos especiales del aparato genital y fertiliza los huevos en el momento de la ovulación (Armstrong et al 1989).

Los embriones eclosionan a las dos semanas y media en promedio, con una longitud de 1.0 cm aproximadamente. Su crecimiento depende de la alimentación y bajo condiciones óptimas maduran sexualmente al año. No se les conocen cuidados parentales, el número de huevo que llegan a poner es de aproximadamente de 500 a 800 por desove (Smith, 1989b).

Su ciclo reproductivo está relacionado a las estaciones del año, en la primavera se renueva el tejido germinal en la gónada masculina y almacén de espermatozoo en las vías deferentes. En mayo y junio inicia la espermatogénesis,

para el mes de Agosto los espermatozoos ya están presentes, y para el invierno son convertidos en espermatóforo, de tal forma es en la época fría cuando su etapa de reproducción se acentúa (Norris et al.1985, en Smith, 1989-b).

De acuerdo a Eisthen (1989) los dos sexos participan en el cortejo ritual, la fase inicial del cortejo consiste en que cada animal se empuja suavemente con su hocico, primero a lo largo del flanco y después alrededor de la cloaca, esto lleva al comportamiento de "vals", descrito por Shoop (1960) en Eisthen (1989) en el cual cada animal presiona su hocico en la cloaca del otro, moviéndose la pareja en círculo, el macho interrumpe la secuencia y se aleja de la hembra, quien lo sigue muy de cerca (Eisthen, 1989). Durante esta etapa del cortejo, el macho sacude su cola de lado a lado con un movimiento ondulatorio, la hembra frota su boca contra las glándulas abdominales del macho (Cochran, 1968). Posteriormente la hembra frota y empuja con el hocico la cola del macho, entonces el macho hace una pausa y baja la porción cloacal sacudiendo vigorosamente su abdomen y cola, depositando el espermatóforo en el substrato, que la hembra recoge mientras sacude fuertemente su cola, después de esto, los dos animales se mueven independientemente (Eisthen, 1989).

### **Alimentación**

Son de hábitos carnívoros, cuando se alimentan atrapan a la presa directamente con la mandíbula y la lengua, la cual es apretada fuertemente en el paladar (Cochran, 1968). Las larvas pequeñas comen artemia o pulga de agua, las larvas grandes y los adultos comen lombrices, moluscos, arañas, crustáceos, coríxidos y otros insectos, peces pequeños, etc. El canibalismo no es raro tanto en larvas como en adultos.

El ajolote en cautiverio acepta una gran variedad de alimentos y dietas, se alimenta de renacuajos del género *Xenopus*, pulga de agua, lombriz de tierra, guppies y alimentos pelletizados, también puede alimentarse de corazón de res, cortado en pequeños trozos mezclado con vitaminas y minerales (Duhon, 1987).

En cautiverio, después de los tres días de que las larvas eclosionan, se alimenta de nauplios de *Artemia salina*, o *Daphnia pulex*. La dieta para las larvas de 5 cm puede suplirse con *Tubifex sp*, el cual es de un alto valor nutricional (Fremery et al, 1986).