



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Malformaciones en Ambystoma lermaense  
(AMPHIBIA: AMBYSTOMATIDAE)

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**B I Ó L O G A**

P R E S E N T A :

**CINTHYA MENDOZA ALMERALLA**



FACULTAD DE CIENCIAS

UNAM

DIRECTORA DE TESIS: M. EN C. XÓCHITL AGUILAR MIGUEL

2006



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.

## AGRADECIMIENTOS

*A la profesora Xóchitl Aguilar Miguel por brindarme el tema tratado en esta tesis y por el asesoramiento y apoyo otorgado para finalizarlo; así como al Dr. Gustavo Casas Andreu por el apoyo para realizar todo este trabajo en el laboratorio de herpetología del Instituto de Biología de la UNAM.*

*Agradezco también profundamente a mis padres Francisco Mendoza Díaz y Estela Almeralla Narváez por el apoyo, paciencia y cariño que me han otorgado en los últimos 24 años.*

*A la gran Universidad Nacional Autónoma de México por haberme brindado una magnífica educación desde la Prepa No 5 “José Vasconcelos” hasta la Facultad de Ciencias, recordando también todos los buenos momentos y amigos encontrados en esta casa de estudios.*

*A los maestros que de alguna u otra manera contribuyeron en mi formación como bióloga.*

## DEDICATORIA

*A mis mamíferos preferidos:*

*De la especie Homo sapiens sapiens:*

*A Francisco Mendoza Díaz y Estela Almeralla Narváez porque siempre han sido y serán mi apoyo básico en la vida.*

*A Ricardo Mariño Pérez por el amor, apoyo, comprensión, ánimo e ideas que me ha dado siempre, esperando que siga siendo una parte fundamental en mi vida.*

*A mi familia y amigos por su amistad.*

*A mi Canis familiaris “BUPPI” ya que me llena siempre de amor y alegría.*

*Ya todos los ejemplares de la especie Ambystoma lermaense (clase Amphibia) que fueron revisados para la realización de este trabajo.*

## INDICE

	Título	Página
I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	ANTECEDENTES.....	2
	2.1 La declinación de las poblaciones de anfibios.	
	2.2 Los anfibios como bioindicadores y su importancia en el ecosistema.	
	2.3 Malformaciones en anfibios.	
	2.4 Generalidades de <i>Ambystoma lermaense</i> .	
III	JUSTIFICACIÓN.....	19
IV	OBJETIVOS.....	20
V	ÁREA DE ESTUDIO.....	21
VI	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
VII	RESULTADOS.....	26
	7.1 Presencia y descripción de las malformaciones en <i>Ambystoma lermaense</i> .	
	7.2 Frecuencia de malformaciones en la muestra colectada de <i>Ambystoma lermaense</i> .	
	7.3 Parámetros físico-químicos.	
VIII	DISCUSIÓN.....	39
IX	CONCLUSIONES.....	41
X	APÉNDICE.....	42
XI	LITERATURA CITADA.....	44

Palabras clave: Malformaciones, Amphibia, Urodela, Ambystomatidae, *Ambystoma lermaense*, contaminación, nitrógeno, amoníaco, nitritos.

# **Malformaciones en *Ambystoma lermaense*** **(AMPHIBIA: AMBYSTOMATIDAE)**

## **INTRODUCCIÓN.**

Hay varios fenómenos asociados a la crisis de la biodiversidad en el mundo, entre estos se encuentra la declinación de las poblaciones y la aparición de varias malformaciones en anfibios (Blaustein y Johnson, 2003b). Se reconoce que uno de los factores causantes de la declinación en las poblaciones de anfibios son las malformaciones porque que éstas ocasionalmente son asociadas con la muerte masiva (op cit).

México tiene una considerable riqueza en especies de anfibios ya que ocupa el cuarto lugar a nivel mundial (Conabio, 2000 e Instituto Nacional de Ecología, 2005); sin embargo, en nuestro país existe poca literatura que aborde el tema de las malformaciones junto con su efecto posible que estas tienen en la declinación en las poblaciones de los anfibios.

En el presente estudio se describen las malformaciones morfológicas y se estima la frecuencia de estas en una población de *Ambystoma lermaense* (Taylor, 1939), especie endémica del Estado de México y en peligro critico de acuerdo con la UICN (2004).

Uno de los factores que provoca la existencia de malformaciones en anfibios es la presencia de contaminación en su hábitat por lo que con un análisis de algunos parámetros físico-químicos del agua donde habita *Ambystoma lermaense* se determinara si es probable que la contaminación afecte el desarrollo de esta especie.

## **ANTECEDENTES.**

### **La declinación de las poblaciones de anfibios.**

En el primer congreso mundial de herpetología realizado en 1989, científicos de todo el mundo mostraron reportes de desapariciones de poblaciones de anfibios, lo que documentó la posibilidad de una declinación poblacional, estos reportes persistieron en el tercer congreso mundial en 1997 (Collins y Storfer, 2003).

La declinación de la biodiversidad en el mundo se ve reflejado por la pérdida de poblaciones y especies de anfibios ya que este grupo taxonómico sirve como modelo de estudio de la crisis de biodiversidad por tres factores:

- 1-Los recientes reportes de declinación de poblaciones y extinciones de especies de anfibios.
- 2-Las causas de la declinación en este grupo son similares y están ocurriendo simultáneamente a grandes distancias.
- 3-Las poblaciones de anfibios muestran declinación aún en Áreas Naturales Protegidas (op cit).

Se conoce que los anfibios son bioindicadores de la salud del ambiente por lo que sus causas de declinación podrían amenazar o afectar a otros grupos taxonómicos (op cit). Existen varias hipótesis de las causas de la declinación de las poblaciones de anfibios que a continuación se mencionan.

La alteración, destrucción y fragmentación del hábitat es el factor más relevante que contribuye a la declinación de poblaciones de anfibios (Blaustein y Kiesecker, 2002). Petranka *et al.*, (1993) dieron un ejemplo del impacto por la destrucción del hábitat de poblaciones de anfibios, comparando la riqueza y abundancia de especies de salamandras en 6 recientes claros en bosques maduros y estimaron que en los claros de los bosques de todo Estados Unidos se perderían 14 millones de salamandras anualmente.

Otra causa de la declinación de las poblaciones de anfibios son las especies introducidas, este es un factor potencial que afecta a los anfibios de varias maneras. Por ejemplo la competencia que pueden tener las especies introducidas con las especies nativas, así como la depredación y la introducción de enfermedades (Blaustein y Kiesecker, 2002). Un reporte de esto lo tuvo *Rana mucosa*, la cual estaba

ampliamente distribuida en las montañas de Sierra Nevada de California en los Estados Unidos en 1900, para 1910 las poblaciones declinaron o desaparecieron por depredación o por una enfermedad transmitida por un salmón introducido (Collins y Storfer, 2003).

La sobre-explotación de poblaciones de anfibios para uso domestico, alimentario y medicinal es poco conocido pero se infiere que el efecto puede ser significativo (op cit ).

Lanoo *et al.*, (1994) estimaron que entre 1920 y 1992 las poblaciones de anfibios en la ciudad de Iowa en los Estados Unidos declinaron de 20 millones de ranas a solo 50,000, debido a la recolección.

Por otro lado el cambio climático global es una causa mas de la declinación de anfibios ya que ocasiona un cambio en la precipitación y temperatura que afecta la reproducción y fenología de algunas poblaciones de anfibios (Blaustein y Kiesecker, 2002). Se han encontrado varios estudios donde se menciona la correlación entre factores climáticos y la declinación de anfibios (Carey y Alexander, 2003). Un ejemplo de esto es el caso de *Eleutherodactylus coqui* y otras especies de Puerto Rico que tuvieron una dramática declinación en su población en 1983 correlacionada con el incremento en los días con menos de 3 mm de caída de lluvia (Stewart, 1995).

Otro factor muy importante es la radiación UV la cual puede matar directamente a los anfibios o aunado a un conjunto de factores (contaminantes, patógenos o cambios en el clima) producir efectos subletales como malformaciones, incremento de mortalidad de embriones etc. Un ejemplo de esto es la baja frecuencia de eclosión en la salamandra *Ambystoma macrodactylum* (14.5% de eclosión ) cuando los embriones se someten a radiación UV-B ( 280-315 nm) (Blaustein *et al.*, 2003).

Es importante mencionar que una amplia variedad de contaminantes pueden afectar poblaciones de anfibios de varias maneras (Blaustein y Kiesecker, 2002): pueden matar directamente a los anfibios, afectar su conducta, reducir sus tasas de crecimiento o inducir inmunosupresión (Alford y Richard, 1999).

También existen elementos bióticos como virus, bacterias, parásitos, protozoarios oomicetes y hongos que afectan las poblaciones de anfibios, estos pueden ser causas de mortalidad o de daño subletal (Blaustein y Kiesecker, 2002). La importancia de las enfermedades infecciosas es que pueden aparecer en la población, incrementando rápidamente su incidencia y virulencia en un rango geográfico. Un

ejemplo de esto es la enfermedad llamada quitridiomycosis la cual es ocasionada por *Batrachochytrium dendrobatidis*, este hongo ha sido encontrado en varias partes del mundo como Australia, Costa Rica, Nueva Zelanda, España y Estados Unidos atacando poblaciones de anfibios (Daszak *et al.*, 2003). En España *Batrachochytrium dendrobatidis* aparentemente es la causa de la mortalidad y desaparición de *Alytes obstetricans* (op cit).

Existe el sinergismo que se puede definir como los factores múltiples que actúan juntos para causar la muerte o daños subletales en anfibios (Amphibia web). El sinergismo puede ocurrir cuando los anfibios en desarrollo tienen una habilidad reducida para responder a un factor estresante en presencia de otro. Por ejemplo algunas especies pueden ser impactadas por contaminación ácida cuando esta combinada con otro factor ambiental como la radiación UV-B (Long *et al.*, 1995).

Blaustein y Johnson, (2003a) mencionan desde 1995 se han documentado malformaciones en más de 60 especies de salamandras y anuros en los Estados Unidos de Norte América y también se ha confirmado la existencia del mismo fenómeno en otros países. En particular en Minnesota, Estados Unidos se encontraron malformaciones en *Rana pipiens*, las cuales fueron presencia de cinco o mas extremidades posteriores, ausencia de extremidades posteriores, carencia de ojo o presencia de extremidades en el abdomen.

Blaustein y Johnson, (2003a) explican que la mayoría de los anfibios que sufren malformaciones terminan por desaparecer de la población ya que no pueden escapar de sus depredadores, y ni se alimentan de manera eficiente, ellos también señalan que los acontecimientos que incrementan el número de animales con malformaciones podrían llevar a la extinción a una población completa; sin embargo si en una población hay menos del 5% de los ejemplares totales con privación de dígitos o extremidades esta es considerada sana.

En estimados recientes se ha acordado que más de 500 poblaciones de ranas renacuajos y salamandras tienen una declinación en su riqueza. También se ha mencionado que en algunas poblaciones de anfibios más del 80% de los individuos exhiben deformaciones (Blaustein y Johnson, 2003b), estas declaraciones señalan que las malformaciones son un factor para la declinación de anfibios.

## **Los anfibios como bioindicadores y su importancia en el ecosistema.**

La palabra anfibio significa vida doble y se le adjudica esta palabra a los organismos que en términos generales presentan un estado juvenil acuático que posteriormente se desarrolla en una forma adulta capaz de moverse en tierra por medio de sus extremidades (Casas-Andreu y Aguilar-Miguel, 1997).

Existen evidencias de que los anfibios son excelentes bioindicadores biológicos de la calidad del ambiente, (op cit), esto es debido a que estos organismos presentan piel lisa y húmeda, ponen huevos sin protección solo cubiertos por envolturas gelatinosas susceptibles a contaminantes químicos lo que podría ocasionarles anormalidades durante el desarrollo embrionario (Casas y McCoy, 1979 y Casas-Andreu y Aguilar-Miguel, 1997), por lo que la piel permeable libre de escamas y de pelo favorece la absorción de sustancias, ésto les hace ser extremadamente sensibles a las alteraciones del medio ambiente (Blaustein y Johnson, 2003a). Así los anfibios son sensibles tanto a los cambios ambientales en los cuerpos de agua donde se reproducen y pasan la primera etapa de su vida, así como en la vegetación que los alberga cuando son organismos metamorfoseados.

Los anfibios constituyen una gran parte de la biomasa de los vertebrados en muchos ecosistemas y son también importantes depredadores y presas por lo que los impactos de la contaminación en esta clase de vertebrados son relevantes para comprender la salud del ecosistema (Bishop, 1991). En algunos bosques templados y tropicales los anfibios tienen más abundancia que cualquier otro grupo de vertebrados; eso es importante porque entonces muchos nutrientes y energía pasan a través de los anfibios de la región (Matton, 2000). Además los anfibios adultos comen enormes cantidades de insectos y ayudan a mantener en equilibrio las poblaciones de sus presas (Young *et al.*, 2004).

## Malformaciones en anfibios.

Hay un amplio espectro de anomalías en los anfibios, éstas incluyen en general la ausencia total o parcial de elementos o miembros del cuerpo, múltiples miembros y dígitos, lesiones de piel, deformaciones en ojos, cola y anomalías en los huesos (Blaustein y Johnson, 2003b, Johnson *et al.*, 2002 y Gardiner y Hoppe, 1999). En la tabla 1 se mencionan los nombres técnicos de cada malformación junto con su significado y especies reportadas con cada una de estas anomalías (Meteyer *et al.*, 2000, Johnson *et al.*, 2002, Blaustein y Johnson, 2003a, Johnson *et al.*, 1999, Frias, 2005, Gardiner y Hoppe, 1999, Johnson *et al.*, 2003 y Johnson *et al.*, 2001)

Tabla 1: Nombres técnicos y significado de cada tipo de malformación, con algunas especies de anfibios que las han presentado.

Nombre	Significado	Especies que presentan algún tipo de malformación
Anoltalmia	pérdida de ojo	<i>Rana pipiens</i> , <i>Rana montezumae</i> , <i>Bufo boreas</i>
Displasia mandibular	malformación en mandíbula	<i>Hyla regilla</i>
Ectrodactilia	pérdida o ausencia de dígitos	<i>Hyla regilla</i> , <i>Bufo boreas</i>
Polidactilia	extra dígitos	<i>Hyla regilla</i> , <i>Ambystoma tigrinum</i> , <i>Ambystoma macrodactylum.</i> , <i>Bufo boreas</i>
Ectromelia	pérdida de miembros	<i>Hyla regilla</i>
Polimelia	múltiples miembros originados de la pelvis	<i>Rana pipiens</i> , <i>Hyla regilla</i> , <i>Rana montezumae</i> , <i>Rana catesbeiana</i> , <i>Ambystoma macrodactylum</i> , <i>Bufo boreas</i>

Continuación de la Tabla 1.

Micromelia	miembros pequeños	<i>Hyla regilla, Bufo boreas</i>
Fusión cutánea	unión de elementos o miembros	<i>Hyla regilla, Rana septentrionales, Bufo boreas</i>
Amelia	ausencia de miembros	<i>Rana pipiens</i>
Rotación	miembros rotados	<i>Rana pipiens</i>
Taumelia	hueso en triángulo	<i>Hyla regilla, Bufo boreas</i>
Tumor	aumento en volumen en un tejido u órgano.	<i>Hyla regilla</i>
Sindactilia	fusión de dígitos	<i>Hyla regilla</i>
Hemimelia	pérdida parcial de miembros	<i>Hyla regilla, Bufo boreas</i>

El tema de las malformaciones en anfibios es complejo ya que esta asociado con la calidad del agua, con su fisiología, desarrollo, anatomía, ecología y con los efectos que el humano ocasiona. En general las causas de las malformaciones de anfibios incluyen la radiación UV, contaminantes e infección de parásitos (Blaustein y Johnson 2003b). Pero para la mayoría de las poblaciones afectadas las causas próximas de malformaciones no han sido identificadas (Johnson *et al.*, 2001).

A continuación se expone una descripción más amplia de cada una de las causas

### Radiación ultravioleta.

Hay 3 tipos en general de radiación UV que son la UV-A ( 315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (200-280 nm). Las biomoléculas importantes (las que se encuentran en los seres vivos) absorben luz alta longitud de onda (UV-A) con poca eficiencia, mientras que el ozono estratosférico solo absorbe luz de baja longitud de onda (UV-C) por lo que los rayos UV-A y UV-B llegan con facilidad a los organismos vivos (Blaustein *et al.*, 2003).

Los rayos UV- B son causa de mutaciones, muerte celular (Blaustein y Kiesecker, 2002), tasa lenta de crecimiento, complican el funcionamiento del sistema inmune e inducen muchos tipos de daño no letal, que incluyen malformaciones de miembros, ojos y cambios de conducta (Blaustein y Johnson, 2003b).

Blaustein y Johnson (2003a) mencionan que la radiación ultravioleta provoca falta de elementos en las extremidades posteriores o falta completamente de éstas, además de la carencia de algunos dígitos, sin embargo, ellos señalan que a la radiación UV no se le pueden atribuir todos los casos de extremidades posteriores ya que no se ha observado en particular la formación de extremidades supernumerarias, aunque Ankley *et al.*, (1998) mencionan que con una alta incidencia de luz UV con una longitud de onda menor a los 310 nm puede afectar el desarrollo de los miembros posteriores y regeneración en salamandras resultando en miembros supernumerarios y dígitos.

### Contaminantes químicos.

Se ha documentado una amplia variedad de contaminantes que afectan a los anfibios estos comprenden herbicidas, pesticidas, fungicidas, fertilizantes entre otros. Estas sustancias pueden afectar severamente a los anfibios ya que inducen un cambio en el comportamiento, reducen sus rangos de crecimiento, actúan en rupturas endocrinas e inducen inmunosupresión (Blaustein y Kiesecker, 2002). Para corroborar esto Blaustein y Johnson (2003a) dicen que cada año se emplean millones de toneladas de agentes contaminantes distintos en áreas donde se han registrado casos de malformaciones de anfibios. Un ejemplo de esto, es el metopreno ( $C_{19}H_{34}O_3$ ) un agente químico que encabezó en 1975 las listas de posibles candidatos causantes de las malformaciones en anfibios. Este agente se propuso como sustitución del DDT.

El metopreno tiene similitud con los retinoides y ésto es un dato importante ya que el ácido retinoico desempeña un papel crucial en el desarrollo de los vertebrados ya que su exceso o ausencia puede inducir malformaciones en los embriones (Blaustein y Johnson, 2003a). Degitz *et al.*, (2000) expusieron la larva de *Xenopus sp* a ácido retinoico y observaron malformaciones como reducción de miembros y huesos en forma triangular, también obtuvieron que a determinadas concentraciones el ácido retinoico causó efectos letales en embriones de *Xenopus sp*.

Otro ejemplo es el insecticida Carbaryl ( $C_{12}H_{11}NO_2$ ) que puede reducir el crecimiento y el desarrollo o afectar la conducta de las larvas (Blaustein y Kiesecker, 2002).

Los anfibios también consumen grandes cantidades de insectos. Si los animales que depreda están contaminados por pesticidas, estas sustancias con el tiempo pueden acumularse en los tejidos de los anfibios, llevando en algunos casos a la muerte o al surgimiento de malformaciones (Young *et al.*, 2004).

### Calidad del agua en hábitats de organismos acuáticos.

Entre los parámetros de especial interés para medir la calidad del agua se encuentran los metabolitos nitrogenados, el oxígeno disuelto así como los metales pesados, cloro y el pH (Buttner y Nace, 1984). Los efectos tóxicos son debidos esencialmente a la forma no ionizada del amonio es decir a la forma molecular  $NH_3$ . Cuando se aumenta el pH y temperatura de un sistema la forma  $NH_4$  se desplaza a la forma  $NH_3$  (Buttner y Nace, 1984).

Weiss (1994), clasificó a los inhalantes tóxicos colocando al amoniaco como un gas irritante el cual es capaz de causar un extenso daño a las células del tracto respiratorio. Un gas irritante puede causar un gran daño a las células, ya sea a través de la formación de un ácido o de un álcali; así las quemaduras ácidas coagulan el tejido y los álcalis producen lesiones penetrantes. El nitrógeno amoniacal que se encuentra en los cuerpos de agua, tiene distintos orígenes. Las aguas de lluvia y nieve contienen trazas de amoniaco. También el nitrógeno amoniacal existe en las profundidades de aguas biológicamente y orgánicamente puras. El origen de este nitrógeno se debe a la reacción que producen las bacterias autótrofas al reducir los nitratos ( $NO_3$ ), así como los restos vegetales que arrastra el agua, también radica en la presencia de animales muertos ya que al degradarse las proteínas y materias nitrogenadas se obtiene el nitrógeno amoniacal (Blanco, 1995).

La toxicidad del amonio para los anfibios acuáticos es poco conocida, sin embargo se sabe que el oxígeno disuelto y los metabolitos de nitrógeno en el sistema acuático cambian los niveles de estrés y toxicidad para el buen desarrollo de los anfibios (Buttner y Nace, 1984), es decir si los niveles de

oxígeno y nitrógeno no son adecuados los anfibios no se desarrollan normalmente. Un ejemplo son los renacuajos de *Xenopus laevis* que a niveles de **0.75 mg/l** de NH<sub>3</sub> presentaron una metamorfosis deficiente (Buttner y Nace, 1984).

Buttner y Nace (1984) mencionan que *Rana pipiens* no exhibió mortalidad ni efectos subletales cuando se sometió a poco oxígeno disuelto (**1.5 mg/l**) sin embargo señalan que se deben mantener niveles de oxígeno, por encima de los **3.0 mg/l**.

También se han documentado las diferencias interespecíficas de anfibios a fertilizantes con nitrógeno y contaminación ácida, los cuales tienen un impacto significativo en las poblaciones; un ejemplo de esto es que la mortalidad y la conducta de los anfibios puede verse afectada en las especies que se encuentran expuestas a fertilizantes con nitrógeno o con bajo pH (Blaustein y Kiesecker 2002).

Marco *et al.*, (1999) demostró que en presencia de fertilizantes con nitrógeno la larva de algunas especies tienen un efecto muy fuerte. El muestra que a altas concentraciones de nitrito NO<sub>2</sub> (mas de **12.5 mg/l**) las larvas de *Ambystoma gracile* y *Rana pretiosa* reducen la actividad alimentaria, bajan su capacidad de nado y hay anomalías como edemas y encorvamientos de cola.

Para poblaciones de peces, el amonio tiene una toxicidad evidente ya que los peces en hábitats con niveles altos en amonio empiezan a hiperventilar branquias, presentan convulsiones y mueren, pero a niveles subletales el amonio produce necrosis en tejidos, inhibición de la capacidad reproductiva, inhibición del crecimiento y degeneración de branquias porque el amoníaco destruye la capa de moco de las branquias (Andrews *et al*, 1996).

Los nitritos también son capaces de matar a poblaciones de peces ya que algunas poblaciones se ha observado, hiperplasia en branquias y separación de las mismas láminas branquiales (Desa, 2002); así como se destruyen los glóbulos rojos y producen la oxidación del hierro de la hemoglobina a la que transforma en metahemoglobina la cual no es capaz de transportar oxígeno (Andrews *et al*, 1996).

La temperatura y la humedad, también son factores climáticos importantes para los anfibios; la temperatura corporal determina el metabolismo, funcionamiento celular, respiración, excreción, circulación y digestión, mientras que la humedad disponible es un factor determinante para la distribución y para la reproducción, sin embargo no sólo la humedad afecta a la distribución y a la

reproducción sino que también si hay alta evaporación y existe una alta concentración de contaminantes puede haber efectos tóxicos para las larvas de los anfibios (Carey y Alexander, 2003).

### Sinergismo

Los rayos UV en adición a factores estresantes perjudican al sistema inmune de los anfibios, por lo que se hacen susceptibles sus defensas. También los fertilizantes y un bajo pH al interactuar con la radiación UV provocan que se altere el desarrollo de los anfibios con esto se puede decir que en ciertas circunstancias la radiación UV y algunos químicos que actúan conjuntamente pueden causar malformaciones (Blaustein *et al.*, 2003).

Hatch y Blaustein (2000), señalan que en pruebas que combinan los efectos de los rayos UV-B y del nitrato se observa que hay reducción de la supervivencia de la larva *Hyla regilla*. Los efectos tóxicos pueden ocurrir cuando se exponen los organismos a ambos factores. El sinergismo entre la radiación UV y contaminantes ambientales puede ocurrir cuando un factor incrementa la toxicidad de otro agente, de este modo contaminantes químicos que son fuertemente absorbidos en alguna porción del espectro UV pueden ser especialmente fototóxicos (Blaustein *et al.*, 2001).

### Infeción parasitaria

Los tremátodos son gusanos parásitos con ciclos de vida complejos, típicamente involucran dos o más hospederos. Una conexión entre la infección parasitaria y las deformaciones en los miembros de anfibios fue sugerida por Sessions y Ruth (1990) cuando observaron numerosas anomalías de extremidades y metacercarias en poblaciones de *Hyla regilla* debido a la presencia de un parásito tremátodo.

En el estudio de Johnson *et al.*, (1999), con la rana *Hyla regilla* de California se reportó una correlación positiva entre los sitios con alta frecuencia de malformaciones en las extremidades y la presencia del parásito tremátodo *Ribeiroia ondatrae*. Para corroborar que la infección por el trematodo es la causa de malformaciones Johnson *et al.*, (2002) obtuvieron que renacuajos y adultos de *Hyla regilla* infectados claramente por *Ribeiroia ondatrae* mostraron varias malformaciones incluyendo

pérdida de miembros y dígitos, fusión cutánea y de dígitos, extremidades y dígitos supernumerarios, ausencia de ojos, albinismo, micromelia, malformaciones en mandíbula, edemas y tumores.

En Johnson *et al.*, (2001) se menciona que *Bufo boreas* también es afectado por *Riberoia ondatrae* al encontrarle hipoplasia mandibular. Los tremátodos del género *Ribeiroia* parecen ser los únicos tremátodos que causan deformaciones en los anfibios de Norte América (Young *et al.*, 2004).

Mata-López *et al.*, (2001), demostraron la presencia de parásitos en *Ambystoma lermaense*, este trabajo fue dirigido a encontrar fauna helmintológica y menciona que algunos individuos colectados de esta especie (48 con metamorfosis y 1 sin metamorfosis) presentaron cinco tremátodos y cinco nemátodos. Los tremátodos fueron *Cephalogonimus americanus*, *Ochetosoma sp*, *Haematoloechus complexus* y *Gorgoderina attenuata*, encontrándose la mayor parte en el aparato digestivo. Mata (com pers), mencionó que al trabajar con los ejemplares parasitados no observó ninguna malformación en ellos.

Aunque la infección por tremátodos es la causa mas probable para explicar la mayoría de los casos de malformaciones en extremidades, existen los agentes químicos y la radiación por rayos UV. Pero en algunas ocasiones estos elementos pueden favorecer la infección por parásitos ya que debilitan el sistema inmunitario de los anfibios (Blaustein y Johnson, 2003a).

No sólo los parásitos tremátodos causan malformaciones, Berger *et al.*, (1998), mencionan que el hongo *Batrachochytridium dendrobatidis* afecta partes queratinizadas de la piel en los anuros adultos y las partes bucales de las larvas. Los mismos autores examinaron ejemplares de tres especies de ranas de Australia y 10 de Costa Rica y Panamá a los cuales se les diagnosticó una enfermedad epidérmica causada por este hongo.

En los anfibios adultos, *Batrachochytridium dendrobatidis* sólo invade las partes superficiales de la piel y nunca los órganos internos, pudiendo desarrollarse de forma aislada o colonial. Los quitridios afectan fundamentalmente a los individuos ya metamorfoseados, pues precisan que la piel contenga queratina. Sin embargo, algunas larvas infectadas presentan asimetrías en la disposición de las filas de

dientes, mientras que otras pierden todos los dientes, e incluso el disco oral aparece inflamado y anormalmente enrojecido (Fellers *et al.*, 2001).

La infección se lleva a cabo cuando una rana o sapo se para en el suelo o se encuentra dentro del agua, entonces las esporas del hongo se fijan a su piel desarrollándose dentro de la epidermis hasta que el esporangio alcanza la madurez y libera numerosas esporas que continuamente reinfectan la piel del hospedero (Bosh, 2003).

## **Generalidades de *Ambystoma lermaense*.**

*Ambystoma lermaense* pertenece a la familia Ambystomatidae del orden Urodela de la clase Amphibia. En México hay 16 especies de este género (Amphibia Species of the World 3.0) confinadas a altitudes altas del norte y centro del país (Bradley, 1989). Este organismo fue inicialmente descrito por Taylor en 1940 (Figura 1) colocándole el nombre de *Siredon lermaensis*. Actualmente el nombre valido es el de *Ambystoma lermaense* (Frost, 1985), este organismo es comúnmente conocido como ajolote del Lago Lerma.

### Descripción de la especie.

Los adultos neotenicos de esta especie tienen una longitud hocico-cloaca que va desde los 118 hasta los 125mm, los adultos metamorfoseados en cambio tienen una longitud hocico-cloaca de 78mm con una longitud de cola de 68mm. El adulto de estos organismos presenta alrededor de 35 dientes maxilares y premaxilares en tamaño desigual; los dientes pterigoideos están un poco separados de los dientes vomerianos, estos alcanzan el nivel posterior de las coanas y consisten de 4 hileras cortas diagonales de 4 dientes cada una o dos hileras de uno o dos dientes, los dientes vomerianos están representados por dos zonas, cada una de ellas con 11 hileras de 3-6 dientes. Las series espleniales tienen cerca de 40 dientes acomodados en hileras transversales cortas de dos o tres dientes cada una. Los dientes mandibulares son similares a los maxilares y premaxilares en número, aunque acomodados en forma irregular en la mandíbula (Aguilar-Miguel, 2005).

En las larvas más grandes las series vomero palatinas y pterigoideas están organizadas en una sola hilera mas o menos continua a cada lado. Los dientes espleniales se presentan con 40-45 dientes en una hilera irregular (op cit).

En los organismos transformados pequeños los dientes espleniales han desaparecido, el paladar es circular, profundo y más grande que la coana con desarrollo de la lengua (op cit).

El color de estos organismos es negro uniforme con un tono mas claro en la región ventral, el adulto metamorfoseado puede presentar una tonalidad de gris uniforme o también algunas veces tiene glándulas circulares en la piel, con manchas en tono crema (op cit).

La piel de estos organismos es lisa, glandular y húmeda, tienen cuatro dedos en las extremidades anteriores y cinco en las posteriores todos carentes de uñas. Su cuerpo es robusto, con surcos costales sobre los lados, la cola es aplanada lateralmente cuando son formas acuáticas. Tienen párpados móviles y presentan pulmones (Casas-Andreu *et al.*, 2003).

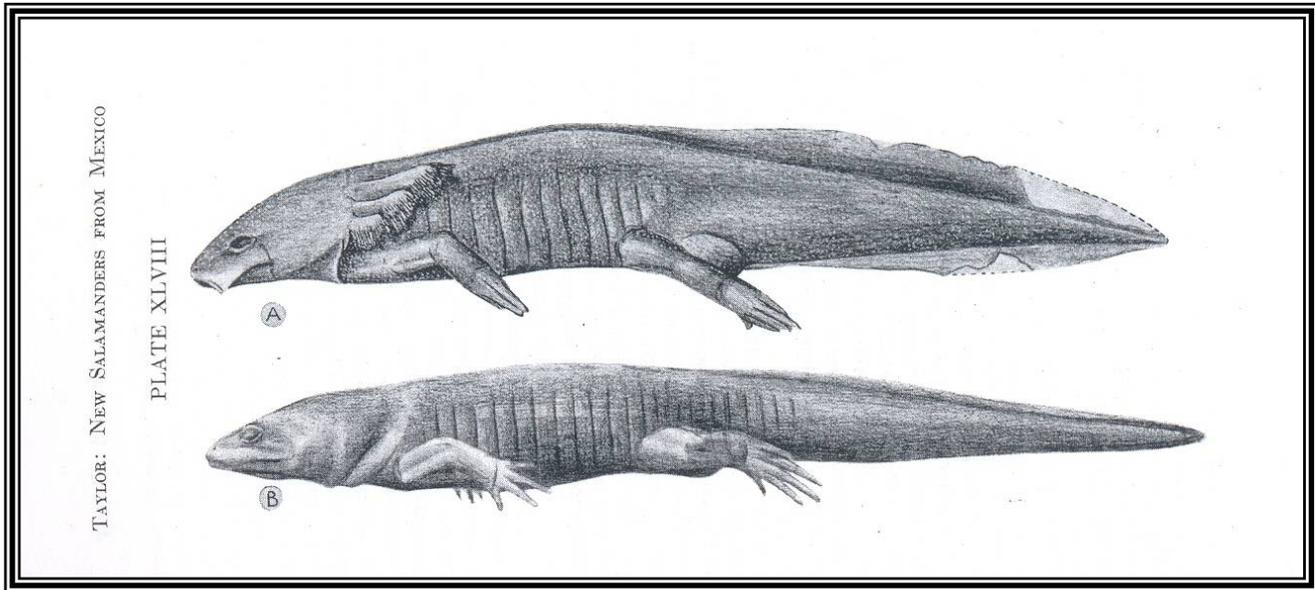


Figura 1.-Dibujos del adulto paedogénico (A) y metamórfico (B) tomados de Taylor, (1939).

#### Distribución geográfica de *Ambystoma lermaense*.

*Ambystoma lermaense* tiene una distribución histórica de 550 km<sup>2</sup> esto considerando los cuerpos de agua presentes en los municipios de Almoloya del Río, Lerma, Ocoyoacac, Santiago Tianguistenco, Xalatlaco, Texcalyacac y San Antonio la Isla, sin embargo actualmente *Ambystoma lermaense* tiene una distribución de solo 150 km<sup>2</sup>, en áreas de los municipio de Almoloya del Río, Santiago Tianguistenco, Ocoyoacac y San Antonio la Isla (García, 2005).

Aguilar-Miguel y Casas-Andreu (2005), proporcionaron los datos exactos de la distribución histórica y actual de *Ambystoma lermaense* (Figura 2).

### Hábitat y ecología.

*Ambystoma lermaense* presenta el proceso de heterocrónia denominado paedogénesis facultativa el cual es diferente a la neotenia, es decir la diferencia radica en que la neotenia se da en organismos en los que nunca se sufre metamorfosis y por lo tanto la reproducción se lleva a cabo en estados larvales, en cambio la paedogénesis facultativa se da en organismos en los que la metamorfosis se puede o no llevar a cabo. *Ambystoma lermaense* es una especie polimorfica ya que en su hábitat se encuentra organismos paedogénicos como metamórficos (González, 2005).

El hábitat de *Ambystoma lermaense* se caracteriza por ser un sistema de cuerpos residuales y canales de riego alimentados por la Laguna de Lerma (Aguilar-Miguel, 2005).

### Importancia histórica, cultural y económica de *Ambystoma lermaense*

En la antigüedad los primeros exploradores de México encontraron un organismo parecido a un pez de cuatro patas, llamado por los aztecas “axolotl”. Aun antes de que los zoólogos empezaran algún estudio sobre la vida de los ajolotes los pobladores del este continente ya utilizaban estos organismos como alimento (Calderón. y Rodríguez ,1986).

Las primeras referencias impresas sobre los ajolotes aparecen en el trabajo de Hernández (1548) llamado, y a su vez las descripciones de esta obra fueron basadas en las descripciones de informantes indígenas (Miranda, 1960).

Por otro lado Martín del Campo y Sánchez (1936) mencionaron el uso del ajolote como alimento y medicina, citando un jarabe de ajolote como tratamiento de enfermedades de vías respiratorias.

Calderón. y Rodríguez, (1986) mencionan que al parecer las poblaciones de ambistomátidos en México están en problemas de conservación. Particularmente señalan que se desconocían datos sobre la biología de *Ambystoma lermaense*, también en este trabajo se encuentran datos importantes sobre el uso de este organismo, explicando que aproximadamente el 50% de los pobladores de las localidades con presencia de *Ambystoma lermaense* utilizaban a este ajolote como alimento o medicina. En el alimento los individuos se preparaban en varias presentaciones: en torta, fritos, en caldo, asados,

guisados o en tamales, en lo que respecta al uso medicinal, el organismo se preparaba en jarabe, caldo o asado con el fin de curar enfermedades de vías respiratorias, anemia y diabetes. Por todo lo anterior se puede comprender que muchos de los pobladores del Eje Neovolcánico aprovecharon a los ajolotes explotándolos con carácter económico, de subsistencia o como complemento a sus ingresos (Calderón y Rodríguez ,1986).

#### Estado de conservación y categoría de riesgo.

Casas-Andreu *et al.*, (2003) menciona que son pocas las investigaciones que se han realizado en México a cerca de los ajolotes. También menciona que el estatus de su conservación es deplorable ya que varias especies se encuentran al borde de la extinción y otras más en muy mal estado.

*Ambystoma lermaense* tiene una problemática seria de declinación debido a diferentes factores como la destrucción, desecación, destrucción del hábitat y su transformación en áreas urbanas e industriales y en áreas agrícolas (García, 2005 y Aguilar-Miguel *et al.*, 2004).

De acuerdo a la lista roja de la IUCN (2004), esta especie se encuentra en peligro crítico y conforme a la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL- 2001) *Ambystoma lermaense* tiene la categoría de protección especial.

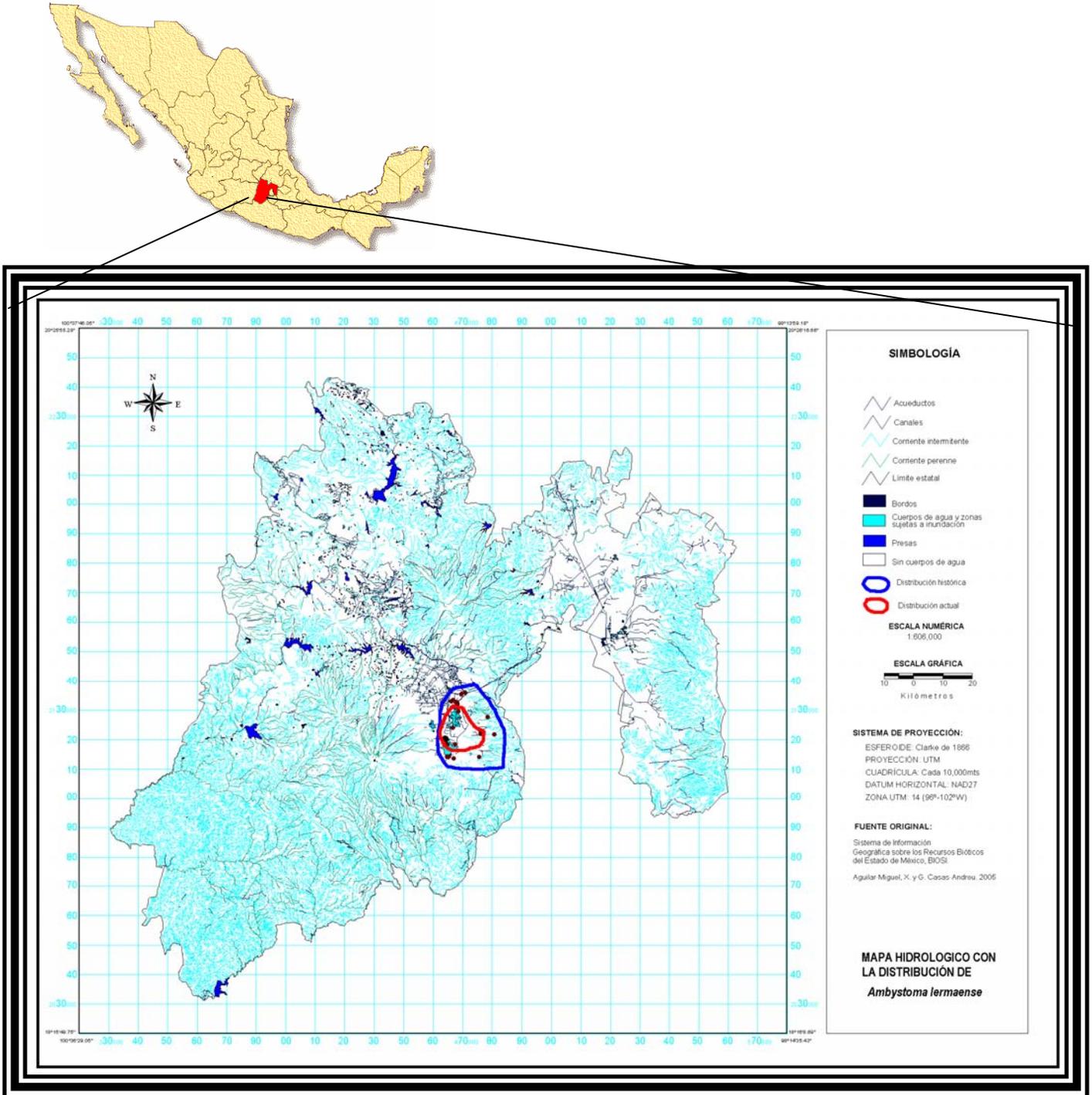


Figura 2.-Mapa hidrológico del Estado de México señalando la distribución de *Ambystoma lermaense* (Aguilar-Miguel y Casas-Andreu, 2005).

## **JUSTIFICACIÓN.**

*Ambystoma lermaense* como se menciono anteriormente tiene una gran importancia histórica, cultural y ecológica, además este organismo actualmente se encuentra en estado crítico de conservación, siendo entonces una especie prioritaria para investigación. Todo esto se ve aunado a los pocos proyectos que se han realizado en México acerca del género *Ambystoma*.

Por todo lo anterior este trabajo es importante, además de ser uno de los primeros en tomar en cuenta que la contaminación por nitrógeno podría ser una causa de la presencia de malformaciones en anfibios y a su vez también ser causa de la posible desaparición en un futuro de la población de estudio.

## OBJETIVOS.

### *General*

- Determinar la presencia de malformaciones en *Ambystoma lermaense*.

### *Particulares*

- Describir cada una de las malformaciones encontradas.
- Establecer el porcentaje de la frecuencia de malformaciones en la muestra de la población de estudio.
- Determinar las posibles causas de las malformaciones revisando las condiciones ambientales de la población de *Ambystoma lermaense* en la laguna de San Pedro Tlaltizapán.

## AREA DE ESTUDIO

### Localización

La colecta se llevo a cabo en la Laguna de San Pedro Tlaltizapán (Fotos 1 y 2) con coordenadas 19° 12' 34'' LN y 99° 30' 26'' LO y a una altitud de 2574 msnm) que se encuentra en el municipio de Santiago Tianguistenco, en el Estado de México. Este municipio se encuentra localizado en la región sur oriente del Valle de Toluca, en las estribaciones de la Sierra del Ajusco (Gobierno del Estado de México, 2005).

### Hidrología

La principal corriente fluvial del municipio es del Río Lerma que cruza al municipio de sur a norte, una parte en su cauce natural y otra mediante un cauce rectificado. Otra corriente importante es el Río de Jalatlaco que atraviesa el municipio de oriente a poniente (Gobierno del Estado de México, 2005).

### Clima

El poblado de San Pedro Tlaltizapán tiene una altura de 2580 msnm. La temperatura anual varia entre 14 y 18 °C. En invierno la temperatura mínima llega hasta los 2 °C mientras que en primavera-verano la temperatura alcanza los 29 °C. La precipitación pluvial varia entre los 800 y 1000 ml anuales (Abasolo *et al.*, 2001 y Velásquez, 1987).

### Orografía y tipo de suelo

La configuración orográfica del territorio municipal presenta grandes variaciones; sin embargo el terreno en San Pedro Tlaltizapán es plano en su totalidad. Los tipos de suelo que constituyen la superficie de este poblado son feozem háplico con vertisol pélico, con fase dúrica profunda (Gobierno del Estado de México, 2005).

### Vegetación

La vegetación del municipio es bastante variada, en función de su respectiva altura sobre el nivel del mar. Las regiones montañosas muestran bosques de encino, pino, oyamel, fresno y madroño, así como matorrales y pastizales. En San Pedro Tlaltizapán, se desarrollan el matorral crasicaule, tulares, vegetación holófila y pastizales (Gobierno del Estado de México, 2005).

### Actividades económicas

Las actividades económicas básicas del municipio de Santiago Tianguistenco son la agricultura, ganadería e industria, aproximadamente se puede considerar que un 35% de la superficie municipal constituye la región montañosa; un 30% el área dedicada a la agricultura y el restante 15%, corresponde a las áreas urbanas y suburbanas (Gobierno del Estado de México, 2005), algunas industrias existentes en este municipio son de fabricación de hule, materiales de construcción y también se realiza la fabricación de esmaltes, barnices, aceites automotrices así como la fabricación de masa (Sistema de Información Empresarial Mexicano, 2005).



Foto1.- Vista en el mes de diciembre de una de las orillas de la laguna donde se colectaron algunos de los ejemplares.



Foto2.- Canal alimentado por el agua de la laguna donde también se colecto (diciembre).

## **MATERIALES Y METODOS:**

### Trabajo de campo

Se colectaron en total 63 individuos de *Ambystoma lermaense* en la laguna antes mencionada, ésto se realizó en colectas diurnas llevadas a cabo dos veces por mes de colecta, con tres repeticiones en cuatro horas diarias, de mayo a noviembre del año 2003 (ya que los meses de enero a abril y también diciembre no se encontraron organismos), con ayuda de las artes de pesca llamados matla y chinchorro. Es importante señalar que se hicieron varias repeticiones por cada colecta con el fin de obtener todos los ajolotes de la laguna.

Se obtuvieron muestras de agua (en las zonas de colecta) en frascos de 1 litro para determinar algunos parámetros físico-químicos Este muestreo fue hecho en cada colecta por lo que en total fueron 14 muestras.

### Trabajo de laboratorio

1.- Se determinaron los ejemplares.

2.-Posteriormente se observaron los ejemplares con microscopio estereoscópico para comparar su anatomía con la descripción de Taylor (1939) con el fin de encontrar malformaciones en los organismos. Los que tuvieron alguna malformación se separaron para la posterior descripción de las mismas.

3.- Con las muestras de agua se determinó el pH, temperatura, oxígeno disuelto, contenido de amonio, nitritos, nitratos, sólidos suspendidos y demanda química y bioquímica de oxígeno El análisis se realizó con un equipo Hach aprobado por la EPA (Environmental Protection Agency) del Laboratorio de Acuicultura del Centro de Investigación en Recursos Bióticos de la Universidad Autónoma del Estado de México. Posteriormente se compararon los parámetros físico-químicos obtenidos del agua con los parámetros adecuados publicados en la normas NOM-001-ECOL-1996, NOM-127-SSA1-1994 y en la modificación de ésta (ver apéndice).

5.- Por último se calculó la frecuencia de las malformaciones del total de la muestra.

6.- Actualmente los organismos se encuentran en el laboratorio de Recursos Bióticos de la Universidad Autónoma del Estado de México.

## RESULTADOS

### Presencia y descripción de las malformaciones en *Ambystoma lermaense*

Se observaron en total 8 tipos de malformaciones en 12 ejemplares de *Ambystoma lermaense* los nombres de las malformaciones se muestran por orden alfabético:

- 1.- Asimetría en miembros
- 2.- Ausencia de dígitos
- 3.- Ausencia total o parcial de extremidades
- 4.- Elementos con micromelia
- 5.- Extremidad supernumeraria
- 6.- Fusión de dígitos
- 7.- Rotación de miembros
- 8.- Tumor

### **La descripción que a continuación se muestra fue realizada para cada organismo con malformación, la posición de las anomalías fue manejada de acuerdo a la colocación ventral de los organismos**

1.- La asimetría en miembros se presentó en las extremidades posteriores de un ejemplar observándose (Figura 12) como las extremidades varían en posición y longitud, llegando la extremidad posterior derecha mas abajo que la otra.

2.- La ausencia de dígitos se presentó solo en las extremidades posteriores de 4 individuos. En el primer ejemplar con esta anomalía vemos como en la extremidad posterior derecha no se desarrollo completamente el dígito (Figura 4), los otros individuos presentaron totalmente la ausencia de un dígito (Figuras 5,7 y 11).

3.- La ausencia total o parcial de extremidades se presento en 4 individuos. Un individuo tuvo falta parcial de fémur en la extremidad posterior derecha, esto se noto porque este hueso no estaba completo ya que apenas se

sintió una pequeña parte proyectándose fuera del abdomen (Figura 10). Otro organismo presento falta de hueso tibio-fibula en la extremidad posterior izquierda y además ausencia total de ambas extremidades anteriores (Figuras 13 y 14). También se encontró ausencia de metacarpos, carpos y dígitos en la extremidad anterior derecha de otro organismo (Figura 15) y el último ejemplar con esta anomalía presento ausencia parcial de ambas extremidades anteriores es decir solo presentaron el hueso radio-ulna (Figura 16).

4.- La micromelia se observo en 2 individuos, presentándose en un solo dígito (Figura. 3) y también en una extremidad completa (la anterior izquierda) (Figura 17).

5.- La extremidad supernumeraria se observó una sola vez en la revisión de los ejemplares, presentándose dos extremidades en el lugar de la extremidad anterior izquierda (Figura. 18).

6.- En un individuo se observó que dos dígitos de la extremidad posterior izquierda estaban fusionados (Figura. 6).

7.- En ambas extremidades posteriores de un individuo se presento rotación de huesos, en la figura 8 se observa como las extremidades no presentan la posición normal.

8.- El tumor que presenta un organismo se encuentra en el lugar donde debería estar la extremidad anterior derecha, dando este tumor la apariencia de tejido aconglomerado (Figura 9).

En la Tabla 3 se muestra la descripción de la malformación junto con el sexo y estado del organismo.

Tabla 3. Tipo de malformaciones, estado del organismo y sexo (P= paedogenico; M= metamórfico e I= indeterminado).

No de organismo	Malformación/es	Estado del organismo	Sexo
1	Micromelia en dígito.	P	♂
2	Ausencia de 1 dígito (el dígito no se desarrollo completamente).	M	♂
3	Ausencia de 1 dígito.	M	♀
4	Fusión de dígitos.	P	♂
5	Ausencia de 1 dígito y rotación de huesos en extremidades posteriores.	M	♀
6	Tumor en extremidad anterior derecha y ausencia de fémur en la extremidad posterior derecha.	P	♀
7	Ausencia de 1 dígito y asimetría en extremidades.	M	♀
8	Falta de hueso tibio-fibula y ausencia total de extremidades anteriores.	P	♀
9	Ausencia parcial de la extremidad anterior derecha (ausencia de metacarpos, carpos y dígitos).	P	♀
10	Ausencia parcial de las extremidades anteriores (ausencia del hueso radio-ulna).	P	♀
11	Micromelia en la extremidad anterior izquierda.	M	I
12	Extremidad supernumeraria.	M	♀

Fotos de las malformaciones



Figura 3.- Micromelia en dígito.

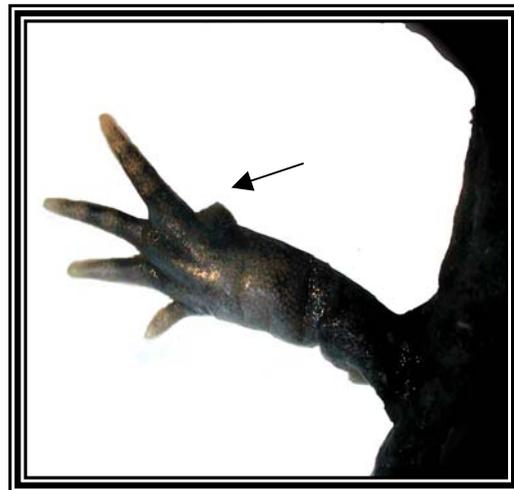


Figura 4.- Ausencia de dígito ya que no se desarrolló completamente.



Figura 5. La extremidad posterior solo tiene 4 dígitos en vez de 5.



Figura 6.- Se observa la fusión de dígitos



Figura 7.- Ausencia de un dígito en una extremidad posterior.



Figura 8.- Se muestra la rotación de los huesos al estar encogidos formado casi un círculo.

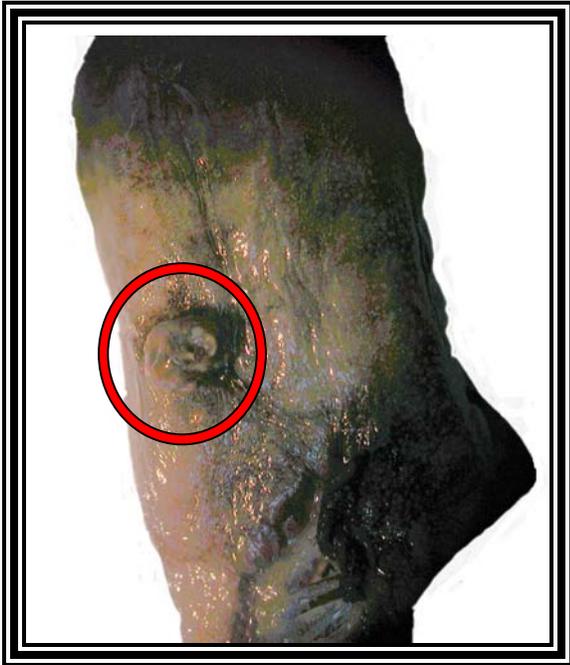


Figura 9.- Presencia de tumor en el lugar donde debería estar la extremidad anterior derecha.



Figura 10.- Ausencia de fémur en la extremidad posterior derecha.



Figura 11.- Solo se presentan 4 dígitos en una extremidad posterior.

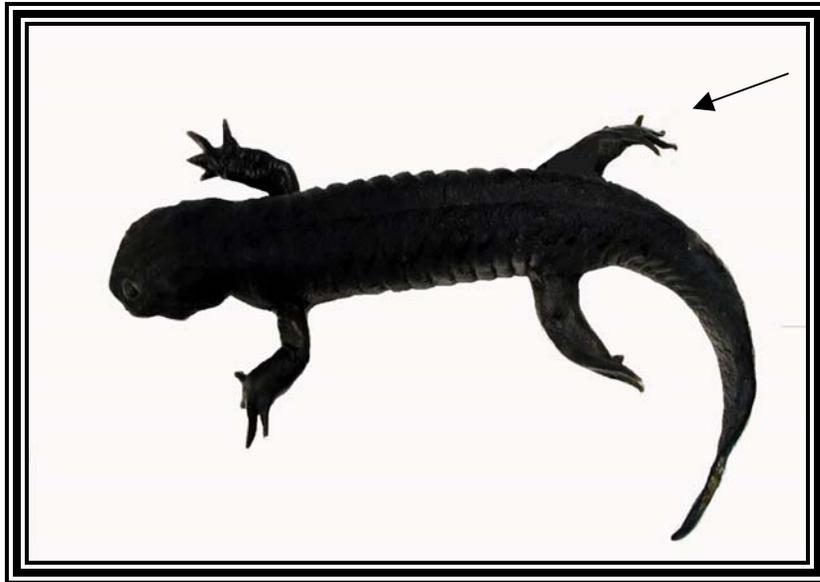


Figura 12.- Asimetría en las extremidades posteriores. La extremidad marcada se encuentra mas abajo que la otra.



Figura 13.- Ausencia del hueso tibio-fibula en la extremidad marcada.



Figura 14.- Ausencia total de ambas extremidades anteriores.

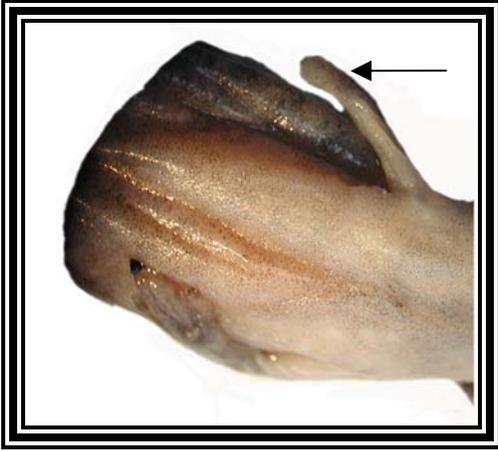


Figura 15.-Ausencia de metacarpos, carpos y dígitos en la extremidad anterior derecha.



Figura 16.- Ausencia del hueso radio-ulna en ambas extremidades anteriores.



Figura. 17.- Se muestra una extremidad anterior con micromelia



Figura 18.-Se presentan en el ejemplar dos extremidades en el lugar donde solo debe estar presente una.

Frecuencia de malformaciones en la muestra colectada de *Ambystoma lermaense*.

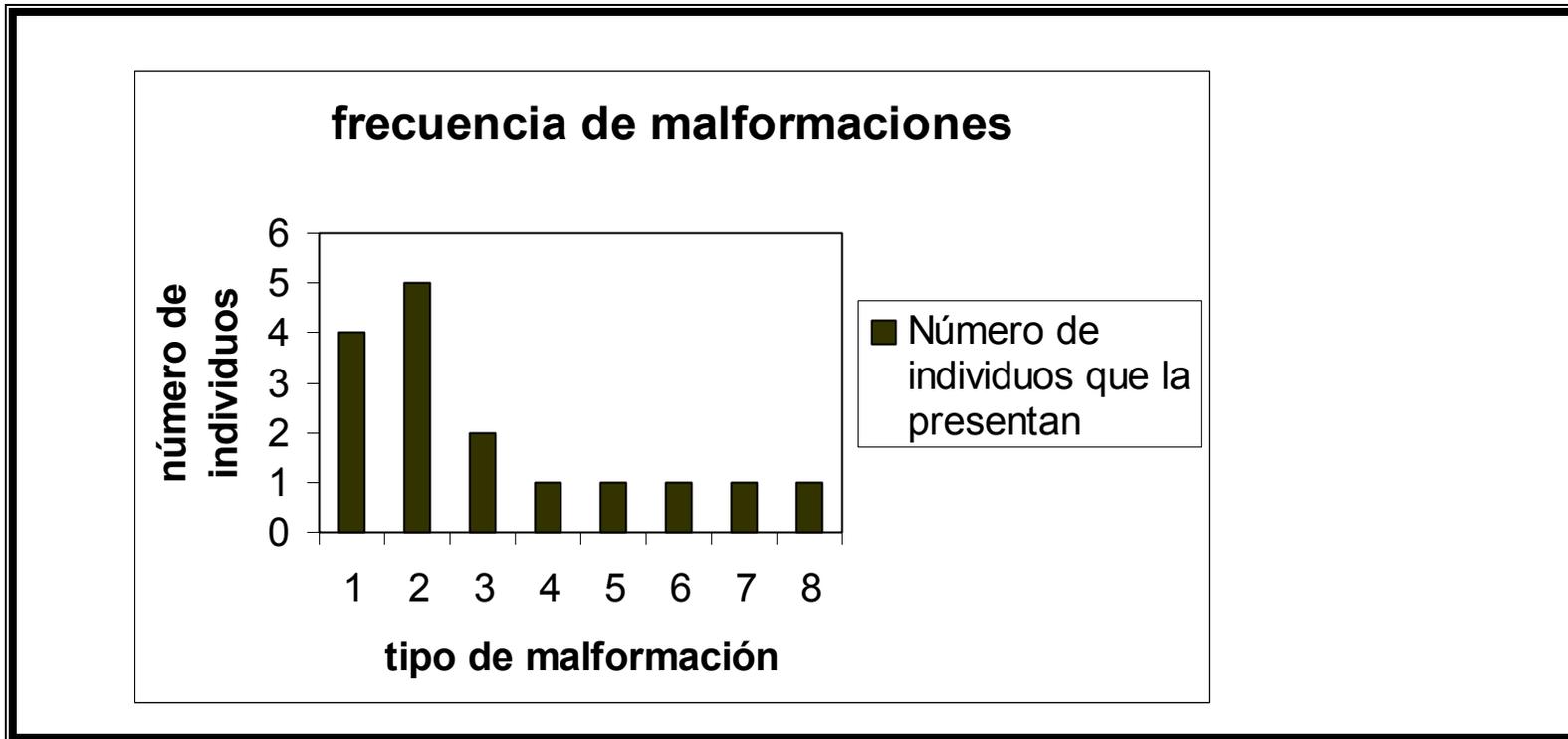
De los 63 ejemplares observados 12 presentaron alguna malformación, por lo que la frecuencia de presentación de malformaciones en la muestra colectada de *Ambystoma lermaense* en la laguna de San Pedro Tlaltizapán es de 19.04%.

8 ejemplares presentaron 1 sola malformación mientras que 4 tuvieron 2. El orden descendente de presencia de las malformaciones se muestran en la Tabla 4 y en la gráfica 1.

Tabla 4. Se muestra la frecuencia de aparición de cada malformación por medio de un porcentaje..

No	Nombre de la malformación	No. de individuos que la presentan	Porcentaje de cada malformación en toda la población
1	Ausencia de dígitos	4	6.34
2	Ausencia total o parcial de extremidades	5	7.93
3	Elementos ó miembros con micromelia	2	3.17
4	Rotación de miembros	1	1.58
5	Fusión de dígitos	1	1.58
6	Asimetría en miembros	1	1.58
7	Tumor	1	1.58
8	Extremidad supernumeraria	1	1.58

Sumando los valores de las dos primeras malformaciones se obtiene un valor de 14.27%, esto se realizó con el fin de saber si la población se encuentra sana, siguiendo lo mencionado por Blaustein y Johnson, (2003a).



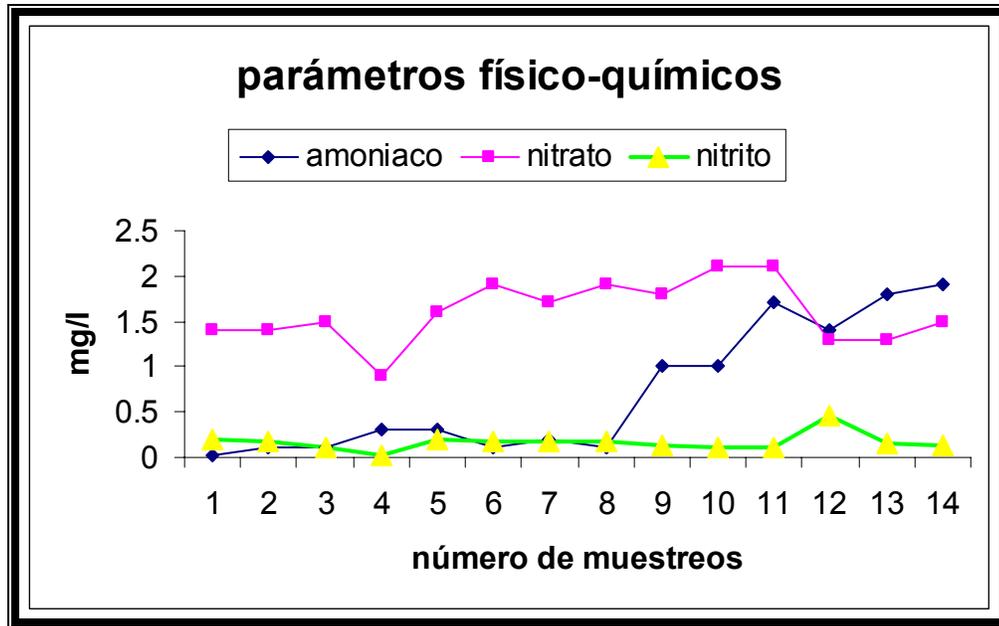
Grafica 1.- Frecuencia de malformaciones. El orden de las malformaciones es el mismo que en la tabla 4.

Parámetros fisico-químicos.

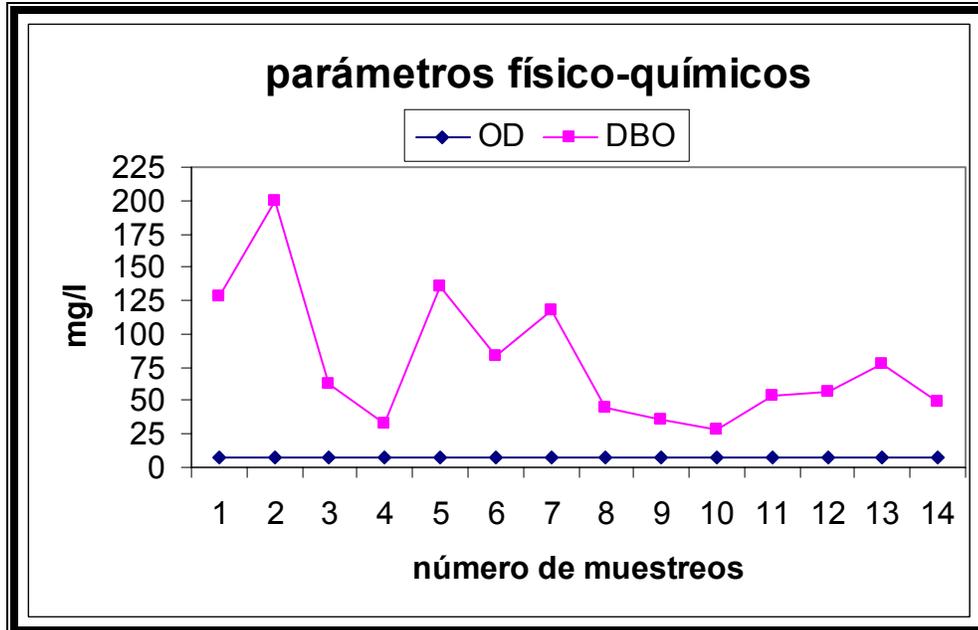
De todos los parámetros físico-químicos tomados con el equipo Hach los valores de contenido de amonio, nitritos, y demanda bioquímica de oxígeno resultaron elevados de acuerdo a las normas NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996, por lo que los valores de estos parámetros junto con otros valores involucrados se muestran en la tabla 5 y se representan en las graficas 2 y 3 (para observar los límites permisibles señalados por las normas anteriores ver el apéndice).

Tabla 5. Contenido en mg/l de los parámetros físico-químicos que podrían resultar tóxicos para *Ambystoma lermaense*.

Número de muestras y mes en el que se realizaron.	Amoniac mg/l	Nitrato mg/l	Nitrito mg/l	Oxígeno Disuelto mg/l	Demanda Bioquímica de oxígeno mg/l
1 mayo	0.03	1.4	0.191	7.1	128
2 mayo	0.1	1.4	0.169	7.4	200
3 junio	0.1	1.5	0.103	7.8	62
4 junio	0.3	0.9	0.023	6.8	33
5 julio	0.3	1.6	0.195	7.4	136
6 julio	0.1	1.9	0.179	7.8	84
7 agosto	0.2	1.7	0.185	7.6	117
8 agosto	0.1	1.9	0.175	7.6	45
9 septiembre	1	1.8	0.128	7.6	36
10 septiembre	1	2.1	0.116	7.4	28
11 octubre	1.7	2.1	0.113	7.8	54
12 octubre	1.4	1.3	0.46	6.8	56
13 noviembre	1.8	1.3	0.145	7.6	78
14 noviembre	1.9	1.5	0.135	7.4	49
media	0.7164	1.6	0.1655	7.4357	79
Desviación estándar	0.7219	0.3396	.0965	0.3319	49.4788



Grafica 2.- Contenido en mg/l de amoniac, nitratos y nitritos para ejemplificar las variaciones de estos en los diferentes muestreos.



Grafica 3. Muestra la variabilidad de los niveles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno en los diferentes muestreos.

## DISCUSIÓN

Se observaron 8 tipos de malformaciones en *Ambystoma lermaense* casi todas mencionadas en los nombres técnicos de acuerdo a los trabajos de Meteyer *et al.*, (2000) y Johnson *et al.*, (2002), esas malformaciones fueron asimetría en miembros, ausencia de dígitos, ausencia total o parcial de extremidades, elementos o miembros con micromelia, extremidad supernumeraria, fusión de dígitos, rotación de miembros y tumor; siendo la primera la no mencionada en la literatura

La falta de dígitos o extremidades, rotación de huesos, las extremidades supernumerarias y la asimetría de extremidades podrían tener diversas causas, entre ellas la radiación UV, la predación y el parasitismo (Johnson *et al.*, 2001), pero tomando en cuenta que hay alta concentración de amoniaco que es un elemento de estrés para el buen desarrollo de los anfibios (Buttner y Nace., 1984) y de nitritos que producen malformaciones (Marco *et al.* 1999) es de considerar que la contaminación por amoniaco y nitritos sea probablemente la causa principal ya que el contenido de estos elementos en la Laguna de San Pedro Tlaltizapán es elevado comparándolo con la NOM-127-SSA1-1994 (el nivel de amoniaco es mayor en 0.216 mg/l y el nivel de nitrito es mayor en 0.115 mg/l de acuerdo con el dato de esta misma norma del año 1995), aunque no se descarta que esa contaminación actúe conjuntamente con la radiación UV.

En lo que respecta a la fusión de dígitos, a la micromelia y al tumor, la literatura menciona que estas malformaciones pueden ser debidas a la presencia de *Riberoia ondatrae* (Johnson *et al.*, 2001 y Johnson *et al.*, 2002) sin embargo, no se encontró señal de la presencia de algún parásito cuando se revisaron los ejemplares, pero no se descarta completamente esa causa (porque no se realizó algún estudio histológico en los ejemplares para verificar esto). En el caso de el tumor las causas podrían haber sido otras como factores que impidieran el desarrollo de extremidades, uno de ellos seria la radiación UV (Blaustein y Johnson, 20003a). Este organismo con tumor tuvo dos malformaciones por lo que se podría considerar también que el sinergismo de la contaminación con la radiación haya afectado al organismo.

Se infiere que por el esfuerzo de colecta continuo durante un año, el tamaño de la muestra obtenida no esta alejado del numero total de la población, por lo que se puede señalar siguiendo lo mencionado por Blaustein y

Johnson, (2003a) que la población de estudio no se encuentra sana, ya que excede el 5% de los ejemplares con ausencia de dígitos y extremidades con un valor de 14.27%.

El porcentaje total de la frecuencia de aparición de todas malformaciones en la población de estudio fue de 19.04% y podría aumentar (tomando en cuenta que la contaminación por nitrógeno es probablemente la causa principal de la presencia de malformaciones en *Ambystoma lermaense*) ya que en el lugar seguirá la contaminación debida a las actividades llevadas a cabo por los habitantes del municipio.

La mayoría de las malformaciones ya han estado reportadas para otras especies como: *Rana pipiens* con ausencia de extremidades y rotación de huesos (Blaustein y Johnson, 20003a y Meteyer *et al.*, 2000), *Hyla regilla* ha presentado extremidades supernumerarias, ausencia de dígitos, micromelia, fusión de dígitos, pérdida o ausencia parcial de miembros y tumor (Johnson *et al.*, 2002), en *Rana montezumae* se observó una extremidad supernumeraria (Frias, 2005), *Ambystoma macrodactylum* y *Rana catesbeiana* tuvieron miembros supernumerarios (Johnson *et al.*, 2003) y *Bufo boreas* también ha mostrado micromelia, miembros supernumerarios y ausencia de dígitos (Johnson *et al.*, 2001).

El contenido de oxígeno disuelto (7.43 mg/l) en la Laguna de San Pedro Tlaltizapán es adecuado, esto basándonos en el dato que proporciona Buttner y Nace, (1984) acerca de que se debe mantener un nivel por encima de 3.0 mg/l, sin embargo, la demanda bioquímica de oxígeno (79 mg/l) excede el límite permitido ( de 30 mg/l) por la NOM-001-1996; lo que podría tener un factor de estrés para *Ambystoma lermaense*.

## CONCLUSIONES

- Las malformaciones que presentaron los 12 ejemplares de *Ambystoma lermaense* se observaron en las extremidades estando clasificadas en 8 tipos, y la frecuencia de todas las malformaciones fue de 19.04 %, esta frecuencia puede aumentar si siguen las malas condiciones en el hábitat de *Ambystoma lermaense*.
- La causa mas tangible de las malformaciones en la población de estudio es la contaminación por amoniaco y nitritos ya que comparando los valores de amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) tóxicos señalados por la NOM-127-SSA1- 1994 con los obtenidos de la laguna de San Pedro Tlaltizapán se determina que si existen valores tóxicos los cuales existieron en los muestreos del 9 al 14 es decir de septiembre a noviembre. También la mayoría de los valores de nitrito ( $\text{NO}_2$ ) (es decir de los valores mensuales comparados con los limites permisibles de la NOM-127 del año1995) son tóxicos.
- Los factores abióticos del ambiente como los rayos UV y la contaminación por nitrógeno podrían estar actuando en conjunto ocasionando algunas malformaciones sin embargo la contaminación por nitrógeno (que sin duda existe en la población de estudio) por si sola podría ser el factor principal.
- A pesar de la relación que podría estar existiendo entre la contaminación por nitrógeno y las malformaciones, no se descarta que algunas de estas anomalías hayan sido ocasionadas por la predación y que también debido a la contaminación mencionada u otros factores estresantes la regeneración de miembros no haya sido posible.
- Este trabajo se promueve la realización de trabajos los cuales comprueben los efectos que tiene la contaminación por nitrógeno sobre el desarrollo de los anfibios, con el fin de brindar información para prevenir la disminución en las poblaciones de anfibios.

## APENDICE

LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. "LIMITE PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".

Los datos de los límites permisibles de los compuestos de nitrógeno en esta norma publicada el 30 de noviembre de 1995 son los siguientes:

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE mg/l</b>
<b>Nitratos</b>	<b>10,00</b>
<b>Nitritos</b>	<b>0.05</b>
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	<b>0.50</b>

Mientras que en la modificación de esta publicada el 20 de octubre del 2000, los límites son:

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE mg/l</b>
<b>Nitratos</b>	<b>10,00</b>
<b>Nitritos</b>	<b>1.00</b>
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	<b>0.50</b>

LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, “QUE ESTABLE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES”

El dato del límite permisible de la demanda bioquímica de oxígeno en esta norma publicada el 24 de junio de 1996 es el siguiente:

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b> <b>mg/l</b> <b>Mensual.</b>
<b>Demanda Bioquímica de oxígeno</b>	<b>30,00</b>

Los parámetros físico-químicos del nitrógeno y del oxígeno obtenidos en la Laguna de San Pedro Tlaltizapán del municipio de Santiago Tianguistenco son:

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>mg/l</b>
<b>Nitratos</b>	<b>1.6</b>
<b>Nitritos</b>	<b>0.165</b>
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	<b>0.7164</b>
<b>Oxígeno disuelto</b>	<b>7.4357</b>
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	<b>79</b>

## LITERATURA CITADA

Abasolo P.V, O. S Carlos, N. G Hermilio y D. H Pájaro. 2001. Cambio tecnológico y agricultura en San Pedro Tlaltizapán, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, 2: 125-132.

Aguilar-Miguel, X. 2005. *Ambystoma lermaense*. Algunas especies de anfibios y reptiles contenidos en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Facultad de Ciencias, Centro de Investigación en Recursos Bióticos, Universidad Autónoma del Estado de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W035. México. D.F.

Aguilar-Miguel, X y G. Casas-Andreu. 2005. Sistema de Información Geográfica de los Recursos Bioticos del Estado de México. (BIOSI) UAEM-UNAM.

Aguilar-Miguel, X, Margarita, G. B y G. Casas-Andreu, 2004. Estatus de conservación de *Ambystoma lermaense*, Taylor (1940), en el Estado de México. VIII Reunión Nacional de Herpetología. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Alford, R.A and S.J. Richards, 1999. Global amphibian declines: a problem in applied ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 30: 133-165.

Amphibia species of the world 3.0 en:

<http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.php>

Amphibia web en:

[www.elib.cs.berkeley.edu/aw/declines/declines.html](http://www.elib.cs.berkeley.edu/aw/declines/declines.html).

Andrews C, Exell A y N. Carrington.1996. *Como prevenir y curar las enfermedades de los peces de acuario*. Grupo Editorial Ceac S. A. Italia, pp 208.

Ankley G.T.,J.E. Tietge, Defoe, K.M. Jensen, G.W. Holcomb, E.J. Durhan, S.A. Diamond. 1998. Effects of Ultraviolet light and methoprene on survival and development of *Rana pipiens*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17: 2530-2542.

Anzalone, C. R, L.B Kats and M.S. Gordon. 1998. Effects of solar UV-B radiation on embryonic development in *Hyla cadaverina*, *Hyla regilla* y *Taricha torosa*. *Conservation Biology*, 12: 646-653.

Berger, L., R. Speare, P. Daszak, E. Green, A. Cunningham, C.L. Goggin, R. Slocombe, M.A. Ragan, A.D. Hyatt, K.R. McDonald, H.B. Hines, K.R. Lips, G. Marantelli and H. Parkes. 1998. Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95: 9031-9036.

Bishop, C. A. 1991. The effects of pesticides on amphibians and the implications for determining causes of declines in amphibian populations: designing a National Monitoring Strategy. *in* Bishop, C.A. K.E and Petit, (Eds). *Occas Pap. Núm 76*. Canadian Wildlife Service, pp. 69-70.

Blanco, C. M. 1995. *La trucha. Cría industrial*. 2<sup>a</sup> ed. Ed. Mundi-Prensa. México, pp. 60-80.

Blaustein, A. R. and D.B. Wake. 1990. Declining Amphibian Populations: A Global Phenomenon. *Trends in Ecology and Evolution*, 5: 203-204.

Blaustein, A. R. and J. M. Kiesecker. 2002. Complexity in conservation: lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology letters*, 5: 597-608.

Blaustein, A. R. and P.T. Johnson. 2003a. Malformaciones en anfibios. *Investigación y Ciencia*, 319: 46-52.

Blaustein, A. R., and P. T. Johnson. 2003b. The complexity of deformed amphibians. *The Ecological Society of America*, 1: 87-94.

Blaustein, A.R., L.K. Belden, A.C. Hatch, L.B. Kats, P.D. Hoffman, J.B. Hays, A. Marco, D.P. Chivers, and J.M. Kisecker, 2001. Ultraviolet radiation and amphibians. *En: Ecosystems, Evolution and Ultraviolet Radiation*. (eds Cockell, C.S. y Blaustein, A.R). Springer, New York, pp 63-79

Blaustein, A. R., J. Romansic, J. M. Kiesecker and A. C. Hatch. 2003. Ultraviolet radiation, toxic chemicals and amphibian population declines. *Diversity and distributions*, 9:123-140.

Bosch J. 2003. Nuevas amenazas para los anfibios: enfermedades emergentes. *Munibe (Suplemento/Gehigarria)*, 16

Bradley S. 1989. Natural History, ecology and evolution of the mexican "axolotls". *Axolotl Newsletter*. 18: 5-11.

Buttner, J.K. and G.W. Nace. 1984. Labile water quality parameters in amphibian holding systems. *Axolotl newsletter*. 13: 38-43.

Calderón Sánchez Irma A. y Ma. Teresa Rodríguez Domínguez. 1986. Estado actual de las especies del género *Ambystoma* (Amphibia: Caudata) de algunos lagos y lagunas del Eje Neovolcánico Central. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Iztacala, UNAM, pp 55.

Carey, C and M. Alexander. 2003. Climate change and amphibian declines: is there a link?. *Diversity and Distributions*, 9: 111-121.

Casas-Andreu y McCoy.1979. *Anfibios y reptiles de México*. Claves ilustradas para su identificación. Ed Limusa, pp. 87.

Casas-Andreu. y X. Aguilar-Miguel. 1997. La polémica sobre la declinación mundial de poblaciones de anfibios. *Ciencia ergo sum*. Univ. Aut. Edo. México, 4(1): 97-102.

Casas-Andreu G, R Cruz-Aviña y X. Aguilar-Miguel. 2003. Un regalo poco conocido de México al mundo: el ajolote o axolotl (*Ambystoma*: Caudata: Amphibia). Con algunas notas sobre la crítica situación de sus poblaciones. *Ciencia ergo sum*. Univ. Aut. Edo. México, 10(3):304-308.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2000. Estrategia Nacional sobre Biodiversidad. En:

([www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia\\_nacional/doctos/CAP3.PDF](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia_nacional/doctos/CAP3.PDF))

Collins, J.P and Storfer, A. 2003. Global amphibian declines: Sorting the hypotheses. *Diversity and distributions*. 9: 89-98.

Daszak, P., Cunningham, A.A and Hyatt, A.D. 2003. Infectious disease and amphibian population declines. *Diversity and distributions*. 9: 141-150.

Degitz S.J, Kosian P.A y Makynen E.A. 2000. Stage and species specific developmental toxicity of all trans retinoic acid in four native North American ranids and *Xenopus laevis*. *Toxicological Sciences*, 57: 264-74.

Desa A. N. 2002. *Oro, cianuro y otras crónicas ambientales*. Ed Universitaria UNC. Cajamarca Peru, pp 209.

Fellers, G. M., Green, D. E. and Longcore, J. E. 2001 Oral chytridiomycosis in the mountain yellow-legged frog (*Rana muscosa*). *Copeia*, 945-953.

Frías, A. P. 2005. *Rana montezumae* en el jardín botánico de la UNAM. Estudios fenológicos y detección de enfermedades y malformaciones. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, pp 70.

Frost, A.R. 1985. Amphibian Species of the world. A Taxonomic and Geographical reference. Published as a Joint Venture of Allen Pres. Inc. *the Association of Systematics Collections Lawrence*. USA.

García, B.M. 2005. Estado actual de conservación de *Ambystoma lermaense* (Taylor, 1940). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UAEM, pp 39.

Gardiner, D.. M and Hoppe, D. M. 1999. Environmentally induced limb malformations in mink frogs (*Rana septentrionalis*). *Journal of Experimental Zoology*, 284: 207-216.

Gobierno del Estado de México. 2005 en:

<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15101a.htm>.

González, S.R. 2005. Variación fenotípica en *Ambystoma granulosum* y *Ambystoma lermaense*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UAEM, pp 57.

Hatch, A.C and Blaustein, A.R. 2000. Combined effects of UV-B, nitrate, and low pH reduce the survival and activity level of larval Cascades frog (*Rana cascade*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39: 494-499.

Hernández F. 1548. Resum Medicarum Noval Hispaniel seu Plantarum, Animalium, Mineralium Mexicanorum Historia. Rome.

Instituto Nacional de Ecología. 2005 en:  
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/45/condic.html>

IUCN. 2004. *IUCN Red List of Threatened Species: Ambystoma lermaense*. En [www:iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)

Johnson, P.T.J., K. B. Lunde., E.G Ritchie, and A.E Launer. 1999. The effect of trematode infection on amphibian limb development and survivorship. *Science*, 284: 802-804.

Johnson, P.T.J., K. B. Lunde, Haight R.W, J. Bowerman and A.R. Blaustein 2001. *Ribeiroia ondatrae* (Trematoda: Digenea) infection induces severe limb malformations in western toads (*Bufo boreas*). *Canadian Journal Zoology*, 79:370-79.

Johnson, P.T.J., K. B. Lunde, E.M. Thurman, E.G. Ritchie, S.W. Wray, D.R. Sutherland, J.M. Kapfer, T.J. Frest, J. Bowerman, and A.R. Blaustein. 2002. Parasite (*Ribeiroia ondatrae*) infection linked to amphibian malformations in the western United States. *Ecological Monographs*. 72:151-168.

Johnson, P.T.J., K. B. Lunde, D. E. Zelmer and J. K. Werner. 2003. Limb deformities as an emerging parasitic disease in amphibians: Evidence from museum specimens a resurvey data. *Conservation Biology*, 17 ( 6): 1724-1737.

Lanoo, M.J., Lang, K., Waltz, T. and Phillips, G.S. 1994. An altered amphibian assemblage: Dickinson County, Iowa, 70 years after Frank Blanchard's survey. *American Midland Naturalist*, 131,311-319.

Lizana, M and Pedraza, E.M. 1998. The effects of UV-B radiation on toad mortality in mountainous areas of central Spain. *Conservation Biology*, 12: 703-707.

Long, L.E., Saylor, L.S and Soule, M.E.1995. A pH/UV-B synergism in amphibians. *Conservation Biology*, 9: 1301-1303.

Marco, A, Quilchano, C. and Blaustein, A. R.1999. Sensitivity to nitrate and nitrite in pond-breeding amphibians from the Pacific Northwest. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 2836-2839.

Martín del Campo y R. Sánchez. 1936. Los batracios y Reptiles según los Códices y Relatos de los Antiguos Mexicanos. *Anales del Instituto de Biología*. UNAM. 7: 489-512.

Mata-López, R., L. García-Prieto and V. León-Règagnon. 2002. Infracomunidades de helmintos parásitos de *Ambystoma lermaensis* (Caudata: Ambystomatidae) en Lerma, México. *Revista de Biología Tropical*, 50 (1): 303-307.

Mattoon A. 2000. El declive de los anfibios. *World Watch*, pp 10-21.

Meteyer, C. U., I. K. Loeffler, J. F. Fallon, K. A. Converse, E. Green, J. C. Helgen, S. Kersten, R. Levey, L. Eaton-Poole and J. G. Burkhart. 2000. Hind limb malformation in free-living northern leopard frogs (*Rana pipiens*) from Maine, Minnesota, and Vermont suggest multiple etiologies. *Teratology*, 62: 151-171.

Miranda J. 1960. Francisco Hernández. Protomédico e historiador del rey de España, don Felipe II en las Indias Occidentales, islas y tierra firme del mar océano. Obras Completas. Tomo I. Vida y Obra de Francisco Hernández precedido en España en la época de Felipe II. UNAM.

Norma oficial Mexicana. NOM-127-SSA1-1994. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca.

Norma oficial Mexicana. NOM-001-ECOL-1996. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca.

Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2001. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca. Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario oficial de la Federación, 6 marzo, pp 65

Petranka, J.W., Eldridge, M.E. y Haley, K.E. 1993. Effects of timber harvesting on southern Appalachian salamander. *Conservation Biology*, 7: 363-370.

Rouse, J. D., C. A. Bishop, and J. Struger. 1999. Nitrogen pollution: An assessment of its threat to amphibian survival. *Environmental Health Perspectives* 107:799-803.

Santos, B.G. 2004. Enfermedades infecciosas y su papel en la declinación mundial de las poblaciones de anfibios. *Biodiversitas*. 56: 1-6

[http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio\\_espanol/doctos/num56\\_anfibios.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/num56_anfibios.html)

Sessions S.K and Ruth S.B. 1990. Explanation for naturally occurring supernumery limbs in amphibians. *Journal of Experimental Zoology*, 254: 38-47.

Sistema de Información Empresarial Mexicano, 2005 en:

[www.siem.gob.mx/portalsiem/Mapa/empxmun.asp?Edo=158mpio=1018var=128](http://www.siem.gob.mx/portalsiem/Mapa/empxmun.asp?Edo=158mpio=1018var=128).

Stewart, M.M. 1995. Climate driven population fluctuations in rain forest frog. *Journal of herpetology* 29: 437-446.

Taylor, H.E. 1939. New Salamanders from México with a discusión of certain know forms. *The University Science Bulletin*, 26: 427-435.

Velásquez, I. 1987. Monografía municipal de Santiago Tianguistenco. Región I. Gobierno del Estado de México.

Young, B. E., S. N. Stuart, J. S. Chanson, N. A. Cox y T. M. Boucher. 2004. Joyas que están desapareciendo: El Estado de los Anfibios en el Nuevo Mundo. *Nature Serve*, Arlington, Virginia, pp 60. En:

[www.natureserve.org/publications/joyas\\_desapareciendo.pdf](http://www.natureserve.org/publications/joyas_desapareciendo.pdf)

Weiss S.M and Lakshminarayan S. 1994. Acute inhalation injury. *Clinics in Chest Medicine*, 15(1): 103-116.