



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**“Efecto de la salinidad y densidad poblacional en larvas de *Hyla xera* que habitan el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México”**

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A:**

**ALFONSO HERNÁNDEZ RÍOS**

**Director de Tesis: Dr. Julio Alberto Lemos Espinal**

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 2010.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 Dra. Laura Castañeda Partida que amablemente dono cepas de mosca de la fruta para alimentar a las ranitas.

Al Dr. Raymundo Montoya Ayala por la elaboración de varios de los mapas que aquí se presentan.

A mis sinodales, gracias por sus comentarios que contribuyeron a enriquecer y mejorar este trabajo.

A mis profesores de carrera...

Al Dr. Julio A. Lemos Espinal, por sus comentarios y motivación a lo largo de este trabajo. Y por ser fuente de inspiración para llevar a cabo este y otros proyectos.

A la Biol. Beatriz Morales Rubio y al Doc Felipe Correa Sánchez, por brindarme la oportunidad de colaborar en las diversas actividades del Vivario y por introducirme a esta fascinante disciplina que es la Herpetología...

A mi familia... no tengo palabras para agradecer por todo el apoyo que me brindaron a lo largo de este camino...

A mis amigos...

A la Sra. Bricia, Don Abraham, Doña Felipa Hernández y Samuel del Valle de Zapotitlán Salinas por su hospitalidad y apoyo logístico durante el trabajo de campo.

A Libra, por su apoyo en la crianza del alimento vivo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México...

The important thing is not to stop questioning. Curiosity has its own reason for existing. One cannot help but be in awe when he contemplates the mysteries of eternity, of life, of the marvelous structure of reality. It is enough if one tries merely to comprehend a little of this mystery every day.  
Never lose a holy curiosity.

- Albert Einstein

## Índice

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Objetivos.....	5
Hipótesis.....	5
Antecedentes.....	6
De la densidad poblacional.....	6
De la Salinidad.....	6
De <i>Hyla xera</i> .....	7
Material y Métodos.....	8
Zona de estudio.....	8
<i>Hyla xera</i> .....	12
Recolecta de puestas.....	15
Diseño experimental.....	16
Proceso experimental.....	17
Análisis estadístico.....	17
Resultados.....	18
Días a la metamorfosis.....	18
Milímetros a la metamorfosis.....	19
Sobrevivencia.....	20
Crecimiento larval.....	22
Discusión.....	26
De la densidad poblacional.....	27
De la salinidad.....	30
Microdistribución y Conservación.....	32
Conclusiones.....	38
Recomendaciones.....	38
Literatura citada.....	39
Apéndices.....	44
Apéndice 1.....	44
Apéndice 2.....	45
Apéndice 3.....	45
Apéndice 4.....	46

## Resumen

Se evaluó el efecto sinérgico y de manera individual de la salinidad y densidad poblacional sobre la sobrevivencia, tiempo a la metamorfosis y longitud en larvas de *Hyla xera* que habitan el valle de Zapotitlán de las Salinas. Se encontró que la salinidad tiene un efecto negativo en la duración del periodo larval (explicando el 79.46% de la varianza encontrada) y la longitud a la metamorfosis (45.14% de la varianza). La densidad poblacional no presentó este efecto significativo por sí sola sobre las variables medidas, sin embargo, el efecto sinérgico con la salinidad sí contribuyó de manera importante a la variación en la longitud y la duración del periodo larval. También se observó una relación entre el gradiente salino presente en la zona de estudio y la distribución espacial de varias de las especies que habitan el valle. *H. xera* se localizó únicamente en zonas de altitud moderada (1500 a 1800 msnm) y salinidad muy baja (0.0 – 0.4 g / l), mientras que *Incilius occidentalis* y *Litobathes spectabilis* se observaron en la zona baja del valle o zona baja de la cuenca, en donde los niveles de salinidad pueden ser hasta 15 veces mayores (hasta 6.2 g / l) que los encontrados para los sitios con larvas de *H. xera*. Estos resultados sugieren que la salinidad puede ser un factor relevante que determina el desempeño, aptitud y distribución de las larvas de *H. xera* dentro del Valle de Zapotitlán de las Salinas.

---

## Introducción

En los últimos años, las poblaciones de muchas especies de anfibios han sufrido serios declives, poniendo en riesgo de extinción a gran parte de las especies. Las principales causas son: Pérdida o alteración de hábitat, cambio climático, enfermedades como la chytridiomycosis y ranavirus e introducción de especies exóticas (Wake *et al.*, 2008). Los dos primeros fenómenos modifican factores ambientales como la temperatura y precipitación, mientras que los dos últimos tienen un impacto directo sobre la sobrevivencia de algunas especies. Estos factores son determinantes en la distribución y dinámica poblacional de muchas especies de anfibios. El estadio larval en este grupo es especialmente propenso a verse afectado por estos factores, dada la restricción de su microhábitat, con relativamente menos opciones ambientales que el estadio adulto.

Este grupo de vertebrados puede habitar ambientes heterogéneos a lo largo de su desarrollo larval, esto es, hábitats que varían en calidad a través del tiempo y del espacio (Denver, 1998; Gómez-Mestre *et al.*, 2003), esto conlleva consecuencias positivas o negativas en el desarrollo, dependiendo de la presencia y/o intensidad de distintos estímulos ambientales y la capacidad de respuesta a estos que presenta cada especie o cada población (Gómez-Mestre, 2003). La capacidad de respuesta a las condiciones ambientales se traduce en un mejor desempeño por parte de los organismos y éste, a su vez, puede mejorar su capacidad para sobrevivir y dejar descendencia, en otras palabras: puede mejorar su aptitud (Newman, 1989).

Pero, ¿Cuáles son los estímulos ambientales que pueden modificar el desarrollo larval en anfibios? Existen factores tanto bióticos como abióticos, los primeros pueden ser: La densidad intra e interespecífica (Wilbur, 1972; Gromko *et al.*, 1973; Wilbur y Collins, 1973; Newman, 1987), la disponibilidad del alimento (Travis y Trexler, 1986; Alford y Harris, 1988; Berven y Chadra, 1988; Morey y Reznick, 2000), la presencia de depredadores (Skelly y Werner, 1990; Wilbur y Fauth, 1990; McCollum y Leimberger, 1997) entre otros. Dentro de los factores abióticos tenemos: La temperatura (Dunson, 1977), salinidad (Christy y Dickman, 2002; Gómez-Mestre y Tejedo, 2003) pH (Warner *et al.*, 1993), nivel del agua (Newman, 1989; Laurila y Kujasalo, 1999; Márquez-García *et al.*, 2009), insecticidas (Boone *et al.*, 2004; Boone y Semlitsch, 2001) y fertilizantes (Boone *et al.*, 2007).

Estos factores pueden actuar de manera individual, aunque generalmente se presentan de manera conjunta y sus consecuencias son notorias en la composición de las comunidades y poblaciones, de manera particular sus consecuencias pueden ser medidas en la sobrevivencia, tiempo a la metamorfosis y talla a la metamorfosis de los individuos sobre los que influyen.

La longitud del tiempo durante el desarrollo generalmente es inversamente proporcional al crecimiento larval y al tamaño a la metamorfosis (Borse y Denver, 2004). Este tamaño puede tener consecuencias importantes en el desempeño y aptitud de los organismos juveniles y adultos. Por ejemplo, un tamaño pequeño a la metamorfosis puede resultar en baja sobrevivencia (Morey y Reznick, 2001), tamaño menor a la primer reproducción (con la desventaja intraespecífica que esto conlleva), retraso en la madurez sexual y menor fecundidad en especies cuyas puestas son talla-dependientes (Berven y Gill, 1983; Smith, 1987; Semlitch *et al.*, 1988).

Por otro lado, en condiciones favorables los periodos de desarrollo larval son más extensos y resultan en tallas más grandes a la metamorfosis, lo cual mejora el éxito de los machos en la reproducción, incrementa la probabilidad de sobrevivencia a la hibernación o estivación, decrece el tiempo a la primer reproducción e incrementa la fecundidad en hembras (Howard, 1978; Berven y Gill, 1983; Smith, 1987).

Distintos ecosistemas pueden presentar diferentes grados de heterogeneidad espacio-temporal en sus hábitat, sin embargo, las zonas desérticas poseen características que las hacen especialmente susceptibles a presentar esta heterogeneidad, como una marcada estacionalidad y altas temperaturas, que fomentan la rápida desecación de los cuerpos de agua superficiales. Tal es el caso del Valle de Zapotitlán de las Salinas, en donde además, sus características geológicas y topográficas contribuyen a la concentración de sales en los cuerpos de agua, además, la perturbación antropogénica los reduce constantemente, provocando así que la concentración salina y la densidad de individuos por volumen sea probablemente mayor que cuando no se presentaba esta perturbación. Es a causa de esto, que la comunidad de anfibios cuya reproducción en su mayoría está directamente ligada a los cuerpos de agua, posiblemente se encuentre en una situación adversa, en donde la sobrevivencia de sus poblaciones se ve comprometida por las crecientes presiones ambientales,



producto de las actividades de los habitantes de la zona. Un claro ejemplo, es la construcción e instalación de represas y equipo de bombeo a lo largo de los afluentes

del río Salado, cuyo efecto directo posiblemente sea la disminución del caudal en estos y por tanto del número y volumen de los arroyos y charcas que se forman a lo largo de dichos afluentes, aumentando así, los niveles de salinidad y densidad poblacional en los sitios en donde habitan la mayoría de las especies de anfibios que se encuentran en este valle.

El estudio de los factores que afectan el desarrollo larval en los anfibios y las diferentes respuestas que tienen a estos, han ayudado a elucidar parte de los procesos de adaptación y evolución que pudieron ser parte importante en la diversificación de distintos linajes de anfibios. Sin embargo, también son de gran importancia para entender los requerimientos de hábitat en determinadas especies y el cómo distintas variables bióticas y abióticas pueden determinar su macro y microdistribución. Esta información puede y debe ser determinante en el manejo y conservación de hábitats silvestres y aéreas naturales protegidas.

Es necesario evaluar los efectos que tienen los factores mencionados sobre el desarrollo larval de las especies de anfibios que habitan esta zona, especialmente sobre las especies con poblaciones y distribución restringidas a zonas relativamente pequeñas, como es el caso de *Hyla xera*, cuya distribución está limitada a algunas localidades dentro y fuera del valle, esto la hace especialmente vulnerable al efecto de distintas presiones ambientales. Parte de los futuros planes de manejo y conservación de esta importante zona necesitan basarse en estudios sobre la biología de las especies que la habitan. Este estudio contribuye al conocimiento de esta especie en particular y puede ser una herramienta en la elaboración de dichos planes.

---

## Antecedentes

Tradicionalmente, los anuros han sido usados como modelos en distintos estudios ecológicos y evolutivos, esto gracias a la facilidad que presentan algunas especies para mantenerse y desarrollarse en condiciones de laboratorio, además de las características propias de sus hábitat, que son relativamente más fáciles de medir en campo y reproducir en cautiverio que las presentes en otros grupos de vertebrados. Los estudios acerca de los factores que afectan el desarrollo en anuros son muy variados, en los párrafos siguientes se presentan experimentos y observaciones que muestran algunas de las aportaciones más relevantes que sirven de base para este estudio.

### De la Densidad poblacional

Wilbur en 1977a realiza experimentos en laboratorio y encuentra que la sobrevivencia durante el estadio larval de *Bufo americanus* es independiente a la densidad poblacional. Más tarde, Wilbur (1982) lleva a cabo un experimento de competencia entre larvas de hylidos y encuentra que las poblaciones más densas tardan más tiempo en alcanzar la talla mínima para metamorfosear y esto aumenta el riesgo de mortandad por depredación o por desecación. Ese mismo año Semlitsch y Caldwell experimental con larvas de *Scaphiopus holbrookii* y encuentran que la sobrevivencia se ve afectada directamente por la densidad poblacional, además esta tiene un efecto significativo en los días a la metamorfosis y la talla a la metamorfosis.

En 1994 Newman publica un estudio en el que examina la respuesta de larvas de *Scaphiopus couchii* hacia los cambios en los factores alimento y densidad poblacional, encontrando que cuando la densidad aumenta los grupos de larvas metamorfosean antes que los grupos en donde se mantiene constante esta densidad. En el 2004, Richter-Boix y colaboradores estudian el crecimiento, peso y sobrevivencia de larvas de anuros bajo condiciones de alta densidad, encontrando que muchas de ellas adelantan su metamorfosis y esto lo interpreta como una respuesta evolutiva que prevé la desecación de los cuerpos de agua y evita la muerte de los individuos. Uno de los trabajos más recientes es el escrito por Dziminski (2009), en el que reporta que altas densidades tienen un efecto negativo sobre el tamaño a la metamorfosis y mortalidad en larvas de *Crinia georgiana*, aun cuando esta tiene la habilidad de

metamorfosear sin alimentarse, lo cual sugiere la existencia de mecanismos denso dependientes, diferentes a la competencia por alimento, que afectan la aptitud de las larvas de esta especie.

### **De la Salinidad**

Gordon y Tucker en 1965, examinan el procesos de osmorregulación en *Fejervarya* (= *Rana*) *crancrivora* (especie que habita en aguas con salinidades extremadamente altas) y encuentra que incluso en esta especie hay un límite (20% agua marina) después del cual las larvas retrasan su de desarrollo, probablemente estas dependan de las lluvias torrenciales que diluyen los sitios de desarrollo. Christy y Dickman investigan, en 2002, los efectos de varias concentraciones de salinidad en el crecimiento, metamorfosis y sobrevivencia de *Litoria aurea*, encuentran que las larvas pueden tolerar concentraciones de 4% de agua marina sin efecto aparente en su desarrollo, sin embargo, concentraciones mayores a 5% reducen las tasas de crecimiento y aumentan la mortandad. Por su parte, Gómez-Mestre y Tejedo (2003) exploran la tolerancia a la salinidad en larvas de *Bufo calamita* provenientes de distintas poblaciones y encuentran que hay mayor tolerancia a la salinidad en las poblaciones que viven naturalmente en aguas ricas en sal en contraste con las que no lo hacen, sugiriendo la existencia de adaptación local.

### **De *Hyla xera***

En 1994, Mendelson y Campbell describen al adulto de *Hyla xera*, posteriormente Mata-Silva (2000) compara la diversidad herpetofaunística de zonas con diferente grado de perturbación dentro del valle de Zapotitlán y encuentra que hay una correlación entre la diversidad y el grado de perturbación en éstas. Más tarde, Canseco-Márquez y colaboradores (2003) describen morfológicamente el estadio larval y mencionan gran parte de los aspectos de historia natural y distribución que se conocen hasta ahora, destaca la mención que hacen hacia la abundancia de esta especie en las cercanías de la localidad Zapotitlán Salinas, al considerarla como abundante. Abbadié-Bisogno (2002) describe algunos aspectos ecológicos en larvas de *Hyla xera*, mencionando particularmente las temperaturas bajo las que se desarrollan y la dieta de esta especie. Dentro del Valle existen tres listados herpetofaunísticos, aunque solo los últimos dos fueron publicados después de la

descripción de la especie, estos trabajos son los de Woolrich-Piña y colaboradores (2005) y Canseco Márquez y colaboradores (2006), ambos trabajos mencionan algunos aspectos de historia natural y diagnóstico de esta especie. En el 2006, Oliver-López estudia la reproducción en esta y otras especies de anfibios dentro del valle, describiendo características que intervienen en las distintas fases reproductivas de *Hyla xera*.

## Material y Métodos

### Zona de estudio

El Valle de Zapotitlán Salinas se ubica en el extremo sureste del estado de Puebla y zonas adyacentes al estado de Oaxaca. Limita al oriente con las Sierras de Atzingo y Miahuatepec, al norte con los cerros Chacatecas y Pajarito, al poniente con los cerros Viejo y Oate y al sur con los cerros Yistepec y Acatepec (Osorio *et al.*, 1996). Tiene una superficie aproximada de 417 Km<sup>2</sup> y se ubica entre los 18° 24' y 18° 12' latitud norte y entre los 97° 24' y 97° 36' longitud oeste (Arizmendi *et al.*, 2007). Este valle se encuentra dentro de la Reserva de la Biósfera Valle de Tehuacán-Cuicatlán ubicado en la parte sur de México, entre los estados de Puebla y Oaxaca (Figura 1).

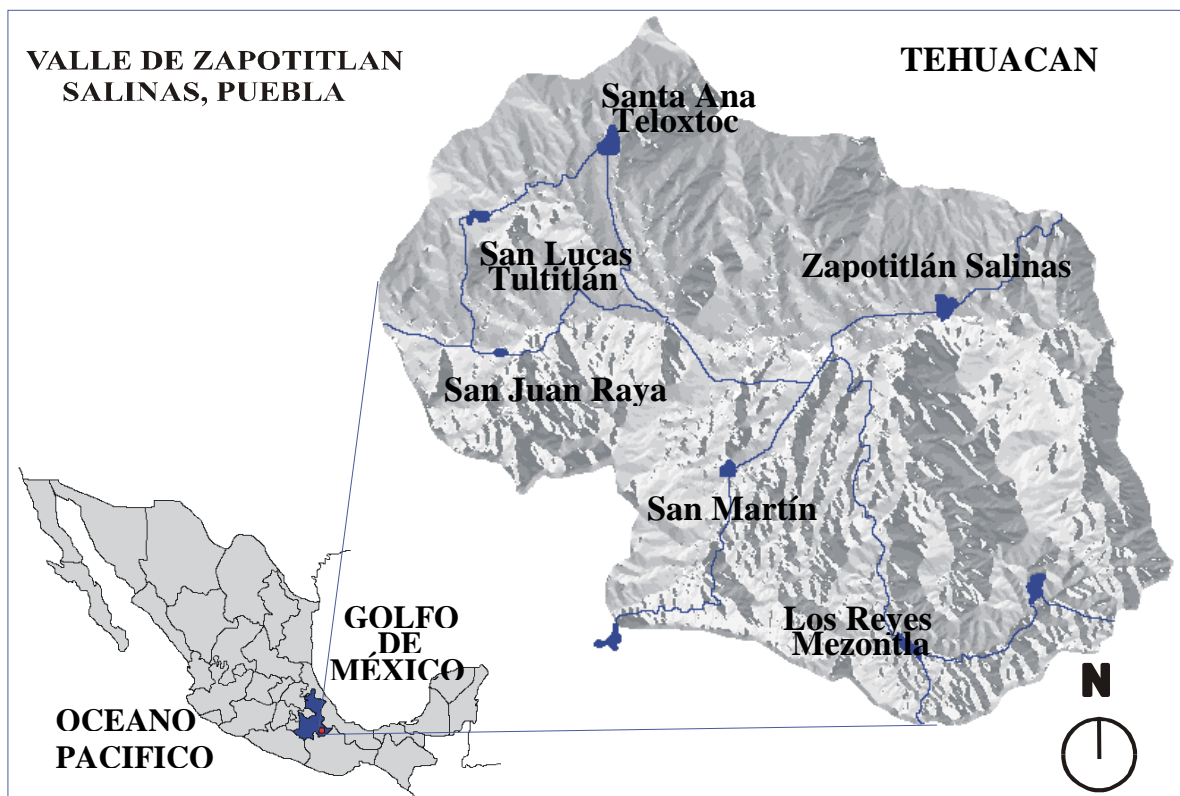


Figura 1. Zona de estudio. Escala 1: 30,000

## Objetivos

- Evaluar el efecto de la salinidad en la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.
- Evaluar el efecto de la densidad en la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.
- Evaluar el efecto sinérgico de la salinidad y densidad en la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.

## Hipótesis

- Ho1: La salinidad afecta la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.
- Ha1: La salinidad no afecta la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.
- Ho2: La densidad afecta la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.
- Ha2: La densidad no afecta la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.
- Ho3: La salinidad actúa sinérgicamente con la densidad afectando la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.
- Ha3: La salinidad actúa sinérgicamente con la densidad pero no afectan la sobrevivencia, talla y tiempo a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.

descripción de la especie, estos trabajos son los de Woolrich-Piña y colaboradores (2005) y Canseco Márquez y colaboradores (2006), ambos trabajos mencionan algunos aspectos de historia natural y diagnóstico de esta especie. En el 2006, Oliver-López estudia la reproducción en esta y otras especies de anfibios dentro del valle, describiendo características que intervienen en las distintas fases reproductivas de *Hyla xera*.

## Material y Métodos

### Zona de estudio

El Valle de Zapotitlán Salinas se ubica en el extremo sureste del estado de Puebla y zonas adyacentes al estado de Oaxaca. Limita al oriente con las Sierras de Atzingo y Miahuatpec, al norte con los cerros Chacatecas y Pajarito, al poniente con los cerros Viejo y Oate y al sur con los cerros Yistepec y Acatepec (Osorio *et al.*, 1996). Tiene una superficie aproximada de 417 Km<sup>2</sup> y se ubica entre los 18° 24' y 18° 12' latitud norte y entre los 97° 24' y 97° 36' longitud oeste (Arizmendi *et al.*, 2007). Este valle se encuentra dentro de la Reserva de la Biósfera Valle de Tehuacán-Cuicatlán ubicado en la parte sur de México, entre los estados de Puebla y Oaxaca (Figura 1).

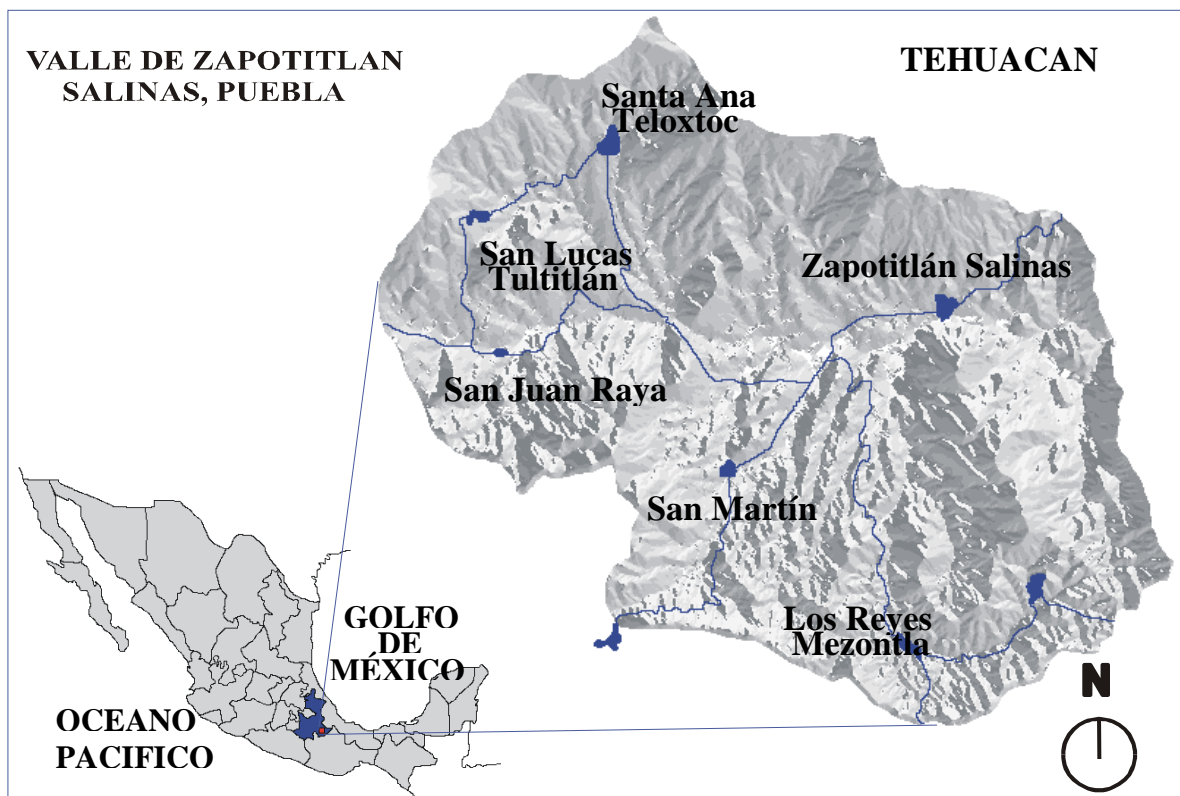


Figura 1. Zona de estudio. Escala 1: 30,000

**Edafología:** En general, se identifican cuatro tipos de suelo, Vertisoles, Rendzinas, Regosoles y Litosoles, este último es el suelo predominante ya que ocupa una extensa área intermedia entre Rendzinas y Vertisoles, así como todo el extremo suroeste en zonas montañosas (Mata-Silva, 2000).

**Hidrología:** El municipio pertenece a la cuenca del Papaloapan en su mayor parte, sólo el extremo suroeste pertenece a la cuenca del Balsas (Mata-Silva, 2000). Esta área corresponde a una cuenca exorreica en cuyo fondo atraviesa el río Zapotitlán que posteriormente da origen al río Salado, este cuerpo se extiende en sentido de Oeste a Este y su pendiente es muy suave, de tan solo 1% (Arizmendi *et al.*, 2007)

**Clima:** La clasificación del clima del valle de Zapotitlán, de acuerdo a la clasificación de Kôppen modificado por García (1973), corresponde a un clima seco semicálido con lluvias de verano (BSohw), con poca oscilación térmica, entre los 5 °C y 7 °C, la temperatura media más baja se presenta en enero siendo de 17.6 °C y la temperatura media más alta es de 23.7 °C y es durante el mes de mayo. Hay presencia de una sequía estival (canícula) a la mitad del periodo de lluvias y con una precipitación media anual de 412.4 mm (Arizmendi *et al.*, 2007).

**Vegetación:** Los tipos de vegetación presentes en el Valle son: Selva baja perennifolia con espinas laterales (Mezquital), Cardonal, Tetechera, Matorral espinoso con espinas laterales, Candelillar (Oliveros-Galindo, 2000), Izotales y Selva baja caducifolia (Valiente-Banuet *et al.*, 2000).

**Fisiografía:** El Valle de Zapotitlán Salinas pertenece a la provincia fisiográfica del Valle de Tehuacán Cuicatlán, distinguiéndose por su fisionomía accidentada típica de la región conocida como Alta Mixteca. Entre las principales geoformas que caracterizan el área están los depósitos aluviales, laderas, zonas planas, cerros barrancas, cuevas y serranías con suelos derivados de lutitas, areniscas y calizas (Osorio, 1996).

**Geología:** La historia del área se remonta al Paleozoico Superior, cuando se formó el Complejo Basal de origen meta-ígneo. Se estima una edad para el complejo de 890 millones de años. Desde el final del Pensilvánico hasta el Jurásico tardío la zona se plegó y emergió para ser cubierta por mares. El paleoambiente era de zonas

pantanosas, con clima cálido y sin fuertes cambios estacionales, la cual corresponde a ambientes cercanos a la costa poco profundos. La formación Zapotitlán surge en el Cretácico inferior cuando se da una transgresión de mares hacia el altiplano. Más tarde ocurrió un arqueamiento de la formación creando una paleobahía. Durante el Cuaternario se presentaron procesos erosivos muy intensos que permitieron la acumulación de depósitos aluviales (Arizmendi *et al.*, 2007).

**Geomorfología:** Este valle presenta una variación altitudinal que va de los 1420 a los 2600 msnm, presenta su cabecera hacia el Noroeste y su salida hacia el Este. Como todos los valles está rodeado por un conjunto de elevaciones mayores, en su mayor parte de origen tectónico formadas de plegamientos de calizas marinas, lutitas y areniscas, la mayoría de estas elevaciones muestran modelado erosivo (Arizmendi *et al.*, 2007).





Área de estudio. a) Valle de Zapotitlán Salinas. b) Afluente del Río Salado. c) Río Salado.

***Hyla (=Exerodonta) xera***

Esta es una especie de hylido descrita hace poco más de una década (ver Mendelson y Campbell, 1994). Habita dentro del Valle de Zapotitlán Salinas en Puebla y algunas localidades en las cercanías de este, incluyendo algunas al noroeste de Oaxaca (Figura 3). Se le puede encontrar bajo rocas, entre grietas y bromelias arbóreas del género *Tillandsia*. Se reproduce durante la temporada de lluvias entre los meses de Mayo a Septiembre (Canseco-Márquez *et al.*, 2003), se le puede encontrar en las noches en congregaciones reproductivas, con los machos croando en las orillas de los arroyos y charcas temporales desde las 19:00 h. y prolongándose hasta altas horas de la madrugada, en algunos casos los cantos incluso se pueden escuchar por la mañana. Los machos llegan a medir 2.8 cm y las hembras 4.3 cm de longitud hocico-cloaca, estas pueden llegar a ovopositar hasta 390 huevos en una puesta, las cuales depositan bajo rocas sumergidas en los cuerpos de agua. Presentan marcadas diferencias ontogenéticas en la coloración dorsal, siendo el estadio juvenil de color verde con una franja dorada longitudinal que recorre cada lado del cuerpo y divide la región dorsal de la ventral; los machos adultos son de color verde-amarillento brillante, con la región comprendida entre la línea cantal y el labio superior de color café-amarillento claro; las hembras adultas presentan una coloración más discreta, siendo generalmente de color café claro con pequeñas manchas café oscuro; tanto machos como hembras adultos presentan una franja color bronce que se extiende desde las narinas hasta la parte media anterior del globo ocular, esta puede ser sustituida por una línea obscura que se extiende desde las narinas hasta la parte media anterior del globo ocular y continua en la parte media posterior de este hasta detrás del tímpano en donde se desvanece, también pueden o no presentar manchas dorsales verdes, estas dos últimas características son aparentemente parte de la transición del estadio juvenil al adulto (obs. pers.).





Figura 2. *Hyla xera*. a) Juvenil. b) Macho adulto. c) Amplexus. d) Larva.



Figura 2. *Hyla xera*. a) Juvenil. b) Macho adulto. c) Amplexus. d) Larva.



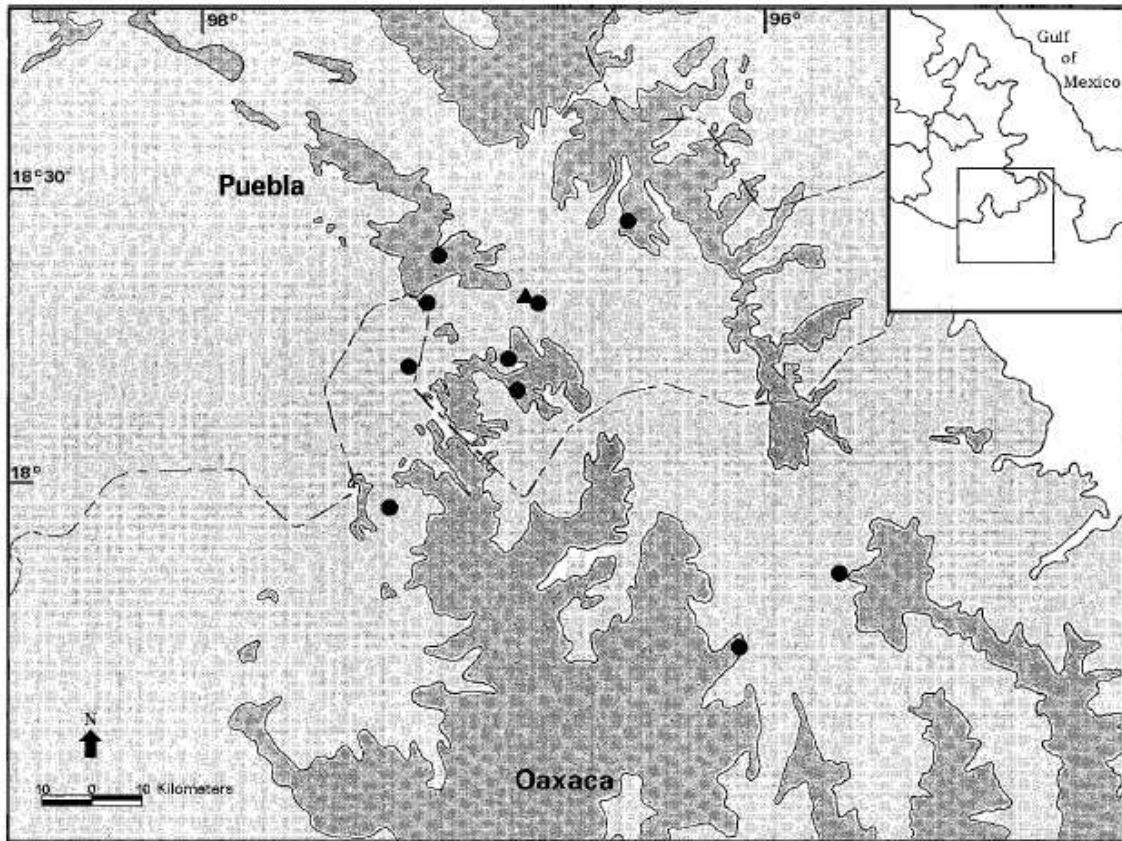


Figura 3. Distribución geográfica de *Hyla xera*. El triángulo representa la localidad tipo y los círculos representan otras localidades reportadas. Las zonas en gris oscuro representan elevaciones de más de 2000 m. Tomado de Canseco-Márquez *et al*, 2003.

### Recolecta de puestas

Durante Agosto y Septiembre del 2008, se recolectaron puestas y parejas en amplexo dentro de la zona de estudio, las primeras fueron transportadas en bolsas plásticas con agua y oxígeno al laboratorio de Herpetología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (UNAM), en donde se mantuvieron en recipientes plásticos con agua de clorada y suministro constante de oxígeno hasta su eclosión. Las parejas en amplexo se colocaron *in situ* en recipientes plásticos acondicionados con sustrato (arena-rocas) y agua hasta la ovoposición, posteriormente fueron liberadas en el sitio de recolecta. Estas puestas se trasladaron y mantuvieron de la manera descrita anteriormente.

## Diseño experimental

Las larvas se mantuvieron antes y durante el experimento en recipientes plásticos de 20 cm x 32 cm x 11 cm, con 2 litros de agua de clorada, oxígeno constante y alimento *ad libitum*. Una vez alcanzado el estadio 26-27 de acuerdo a Gosner (1960), las larvas se integraron en grupos al azar y se colocaron en contenedores en distintas densidades y concentraciones salinas, alcanzadas aplicando la mezcla InstanOcean™. La razón por la cual se utilizó sal marina en lugar de solamente NaCl, es que este último compuesto de manera aislada no contiene los iones necesarios para un eficiente desarrollo (Ca, Mg, P etc.), esto podría potencialmente afectar los resultados del experimento (Christy y Dickman, 2002). Los grupos fueron organizados de la siguiente manera:

	Densidad alta	Densidad media	Densidad baja
Salinidad alta	8 larvas x caja en (0.8 g/l)	4 larvas x caja en (0.8 g/l)	2 larvas x caja en (0.8 g/l)
Salinidad media	8 larvas x caja en (0.4 g/l)	4 larvas x caja en (0.4 g/l)	2 larvas x caja en (0.4 g/l)
Sin Salinidad	8 larvas x caja en (0.0 g/l)	4 larvas x caja en (0.0 g/l)	2 larvas x caja en (0.0 g/l)

Figura 4. Muestra el diseño experimental (bloques de 3 x 3) que se siguió durante el proyecto.

Registros hechos en campo muestran que la salinidad bajo las que encuentran las larvas de *Hyla xera* dentro del valle es de 0.0 - 0.4 g/l, por lo que a partir de estos datos se diseñó el experimento, la salinidad baja fue de 0.0 g/l y la salinidad alta fue de el doble de los niveles más altos encontrados en campo, esto es, 0.8 g/l. No hay valores registrados de densidad intraespecífica para esta especie, por lo que este estudio pretende iniciar a explorar esta variable y sentar las bases para que estos resultados puedan ser comparados con posteriores estudios en campo, las densidades utilizadas fueron: densidad baja: 2 larvas / 2 l, media: 4 larvas / 2 l y alta: 8 larvas / 2 l. El experimento se realizó por triplicado.

## Proceso experimental

Un total de 124 larvas fueron distribuidas en los distintos tratamientos, todas entre el estadio 26 y 27 de acuerdo a Gosner (1960), midiendo entre 9 y 11 mm de longitud hocico-cloaca. La temperatura del agua se mantuvo entre 23 °C y 24.2 °C en todas las unidades experimentales. El agua de los contenedores se cambió 2 veces por semana, posterior a esto las larvas fueron alimentadas con conejina finamente molida. Las concentraciones salinas se obtuvieron utilizando la mezcla Instan Ocean™ y se midieron a lo largo del experimento con un conductímetro modelo YSI 85DO. Las variables medidas fueron las siguientes: longitud hocico-cloaca a la metamorfosis (mm), días a la metamorfosis (días) y sobrevivencia (%). Las larvas se midieron al inicio del experimento y en intervalos semanales durante su desarrollo. En los grupos con densidad baja (0.0 g/l) y media (0.4 g/l) se midieron todos los organismos, mientras que en los grupos con densidad alta (0.8 g/l) se tomaron muestras de cuatro organismos por contenedor. El tiempo a la metamorfosis se registró en días y los organismos se consideraron metamorfoseados una vez que hubieron desarrollado las cuatro extremidades y absorbido la cola. Los organismos que se observaron muertos se retiraron inmediatamente de los recipientes y se registraron para obtener el porcentaje de sobrevivencia.

## Análisis Estadístico

Primero se obtuvieron las medias por unidad experimental, posterior a esto, se exploraron las diferencias entre los distintos tratamientos (Salinidad, Densidad poblacional e Interacción) mediante Análisis de Varianza de dos factores y cuando fue necesario se realizó una prueba (*post hoc*) de Bonferroni para conocer entre cuáles de los distintos niveles en los tratamientos existían diferencias significativas, estos cálculos se realizaron utilizando el software GraphPad Prism versión 5.03 para Windows, GraphPad Software, San Diego California USA, [www.graphpad.com](http://www.graphpad.com).

## Resultados

En los resultados que se muestran a continuación el nivel de Salinidad 0.0 g/l se presenta como Salinidad baja, la Salinidad 0.4 g/l como Salinidad media y la Salinidad 0.8 g/l como Salinidad alta. Así mismo, la Densidad 2 se presenta como Densidad baja, la Densidad 4 como Densidad media y la Densidad 8 como Densidad alta.

### Días a la Metamorfosis

Los días que pasaron antes de que las larvas metamorfosearan variaron de 11 días a 18 días ( $\bar{x} = 15.6$  días) en condiciones de Salinidad baja y Densidad baja, a 55-81 días ( $\bar{x} = 59.5$  días) en Salinidad alta y Densidad baja (Apéndice 1 y 2). El análisis estadístico de mostró que la salinidad tiene un efecto extremadamente significativo ( $F = 77.00$ ,  $P < 0.0001$ ) en los días que tardaron las larvas en metamorfosear, la densidad poblacional no tuvo este efecto y la interacción entre los dos factores se considera significativa ( $F = 3.73$ ,  $P < 0.05$ ). La Salinidad baja mostro tener un efecto estadísticamente diferente a la Salinidad media bajo todos los niveles de densidad poblacional (Densidad baja:  $t = 5.083$ ,  $P < 0.001$ ; Densidad media:  $t = 6.382$ ,  $P < 0.001$ ; Densidad alta:  $t = 4.179$ ,  $P < 0.01$ ), esto es las larvas expuestas al nivel de Salinidad baja metamorfosearon antes que las larvas expuestas al nivel de Salinidad media; el mismo resultado significativo se obtuvo entre la Salinidad baja y la Salinidad alta bajo los distintos niveles de densidad poblacional (Densidad baja:  $t = 8.980$ ,  $P < 0.001$ ; Densidad media:  $t = 7.399$ ,  $P < 0.001$ ; Densidad alta:  $t = 4.207$ ,  $P < 0.01$ ); sin embargo, la Salinidad media no mostró diferencias significativas cuando fue comparada con la Salinidad alta, excepto bajo la Densidad baja ( $t = 3.897$ ,  $P < 0.01$ ). La Densidad baja propicio un periodo de desarrollo estadísticamente menor cuando fue comparada con la Densidad media, ambas bajo Salinidad media ( $t = 2.824$ ,  $P < 0.05$ ). El análisis estadístico mostró que la interacción entre Salinidad y Densidad poblacional tiene un efecto significativamente negativo en los días que tardaron las larvas en metamorfosear ( $F = 3.73$ ,  $P < 0.03$ ).

Esto nos muestra que, en general, las larvas que se desarrollaron bajo condiciones de Salinidad baja metamorfosearon significativamente más rápido que las larvas expuestas a Salinidad media y Salinidad alta, como puede ser observado en la Figura 5, mientras que la Densidad no parece tener un efecto tan fuerte en esta variable. La



interacción entre estos factores también es una fuente que aumenta de manera importante la variable días a la metamorfosis.

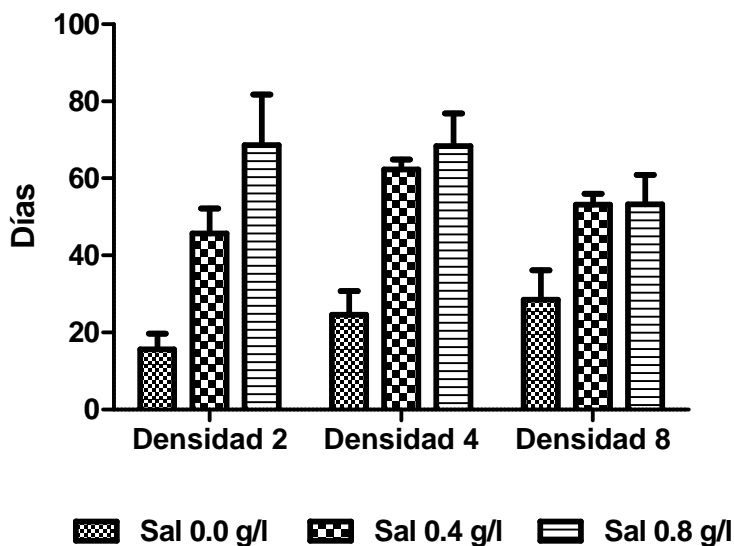


Figura 5.- Muestra los días que transcurrieron hasta la metamorfosis en larvas de *Hyla xera* expuestas a diferentes grados de salinidad y densidad poblacional. Las barras negras muestran la Desviación Estándar.

La salinidad aporta el 79.46% del total de la varianza, resultado en extremo significativo ( $F = 77, P < 0.0001$ ), la interacción aporta el 7.69%, resultado considerado significativo ( $F = 3.73, P < 0.03$ ), mientras que la densidad solo aporta el 3.56% del total de la varianza, esto no se considera muy significativo ( $F = 3.45, P > 0.05$ ).

### Talla a la Metamorfosis

La longitud hocico-cloaca (mm) a la metamorfosis mostró una variación de 12.66 mm a 13.5 mm ( $\bar{x} = 13.25$  mm) en Salinidad alta y Densidad alta, hasta 14-15 mm ( $\bar{x} = 14.66$  mm) en Salinidad baja y Densidad baja (Apéndice 1 y 2). Esta variable se vio afectada de forma extremadamente significativa por la salinidad ( $F = 16.30, P = 0.0001$ ), la densidad poblacional no tuvo este efecto significativo y la interacción entre Salinidad y Densidad poblacional mostró tener un impacto importante ( $F = 5.12, P = < 0.01$ ) en esta variable. Cuando comparamos la longitud hocico-cloaca que presentaron las larvas expuestas a Salinidad baja y Salinidad media encontramos que son estadísticamente iguales, excepto bajo la Densidad 4 ( $t = 693, P = 0.05$ ) en donde las larvas

metamorfosean más pequeñas. Las larvas expuestas a Salinidad alta metamorfosean más pequeñas que las expuestas a Salinidad baja, esto bajo Densidad baja ( $t = 5.753$ ,  $P = < 0.001$ ) y Densidad alta ( $t = 3.060$ ,  $P = < 0.05$ ). Las larvas en Densidad media que se encuentran bajo Salinidad alta alcanzaron tallas a la metamorfosis mayores que las larvas en Densidad baja ( $t = 3.598$ ,  $P < 0.01$ ) y alta ( $t = 2.790$ ,  $P < 0.05$ ). Finalmente las larvas expuestas a Salinidad media son significativamente más grandes cuando metamorfosean que las expuestas a Salinidad alta, esto bajo la Densidad baja ( $t = 3.598$ ,  $P < 0.01$ ) y la Densidad alta ( $t = 2.925$ ,  $P < 0.05$ ).

Es claro un patrón en donde las larvas expuestas a niveles de Salinidad baja metamorfosean a tallas (mm) más grandes que las expuestas a los otros dos niveles, especialmente a las expuestas a Salinidad alta (Ver Figura 6).

La salinidad aporta el 45.14% del total de la varianza, se considera un efecto extremadamente significativo ( $F = 16.30$ ,  $P < 0.0001$ ). La interacción aporta el 28.37% y se considera como un aporte muy significativo ( $F = 5.12$ ,  $P < 0.05$ ). Mientras que la densidad solo aporta el 1.58% del total de la varianza, resultado no significativo ( $F = 0.57$ ,  $P > 0.5$ ).

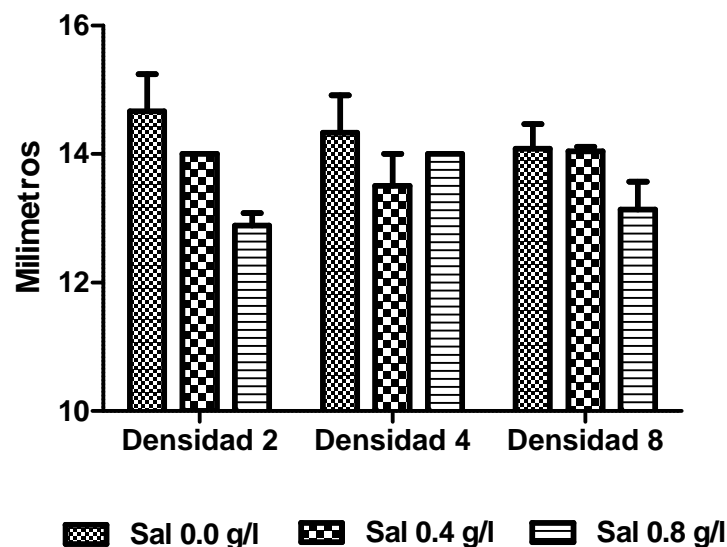


Figura 6.- Muestra la longitud a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera* expuestas a diferentes niveles de salinidad y densidad poblacional. Las barras negras muestran la Desviación Estándar.

## Sobrevivencia

La sobrevivencia mostró un rango que fue del 25 % al 100 % ( $\bar{x}$  = 66.66) en las unidades experimentales bajo Densidad media y Salinidad alta, hasta 100% ( $\bar{x}$  = 100 %) en las unidades bajo Densidad baja y Salinidad baja, así como en la Salinidad alta y Densidad baja y media (Apéndice 1 y 2). El análisis estadístico no dejó ver una interacción significativa ni un efecto importante de la salinidad en la sobrevivencia larval, sin embargo, la densidad poblacional sí fue un factor que afectó de forma importante ( $F = 3.81$ ,  $P < 0.05$ ) esta variable, explicando el 21.92% del total de la varianza. La larvas que conformaron la Densidad media bajo Salinidad alta mostraron una sobrevivencia mucho menor a que todos los demás grupos, en especial cuando los valores fueron comparados con los de las larvas expuestas a Densidad baja en la misma Salinidad alta ( $t = 3.088$ ,  $P = < 0.05$ ), esta extraña observación se discutirá posteriormente. Todos los demás valores de sobrevivencia no mostraron variaciones significativas, como se puede observar en la Figura 7.

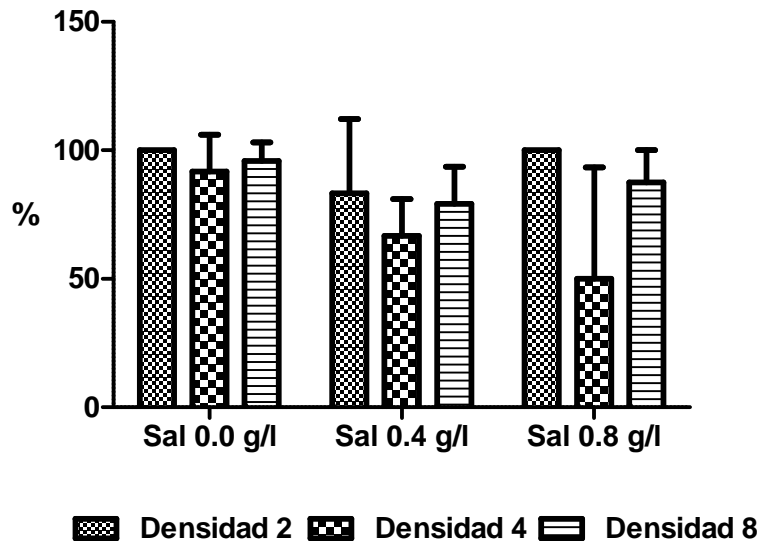


Figura 7.- Porcentaje de larvas de *Hyla xera* que sobrevivieron al término del experimento bajo distintos niveles de salinidad y densidad poblacional. Las barras negras muestran la Desviación Estándar.

## Crecimiento Larval

En general, podemos observar una fuerte tendencia a desarrollarse y metamorfosear de forma más rápida en las larvas mantenidas en Salinidad baja, cuando son comparadas con la Salinidad media y alta (Figuras 8, 9 y 10). En el caso de la Densidad podemos observar que este factor no presenta un fuerte impacto en el desarrollo, excepto a densidades bajas, en donde las larvas si muestra una ligera tendencia a presentar periodos de desarrollo más cortos, aunque el análisis estadístico muestra que esto puede explicarse por la interacción de ambos factores, más que por la densidad por si sola (Figura 11, 12 y 13). Finalmente, es posible observar y contrastar claramente el efecto de la salinidad baja y alta sobre el periodo de desarrollo larval (Figura 14), así como el bajo efecto que tienen la densidad alta y baja sobre este mismo factor (Figura 15).

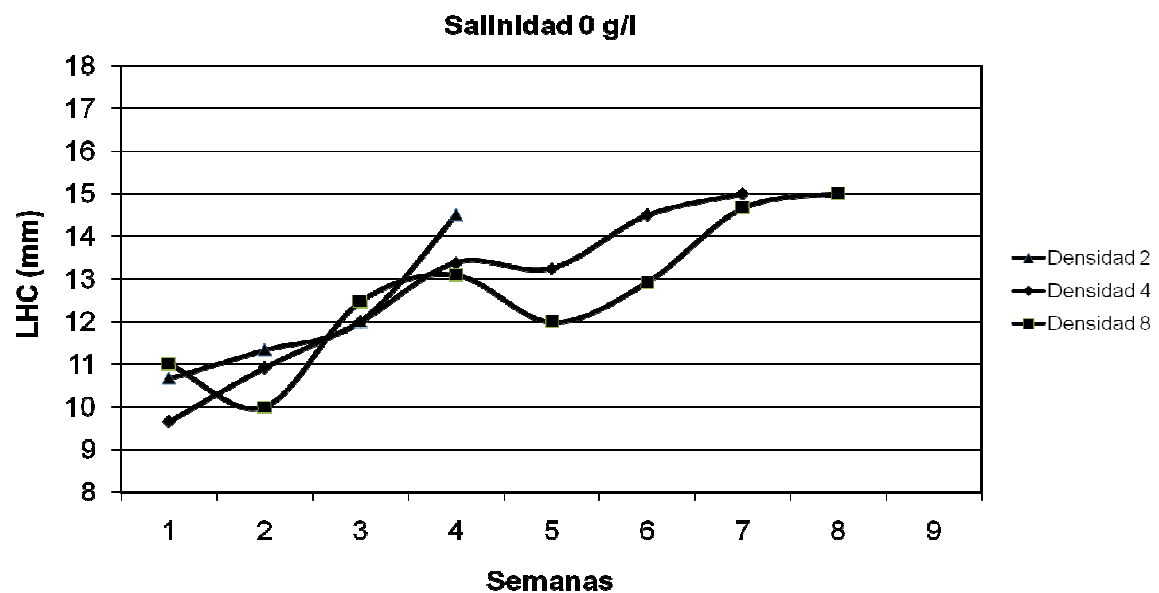


Figura 8. Crecimiento larval a distintas densidades y sin salinidad.

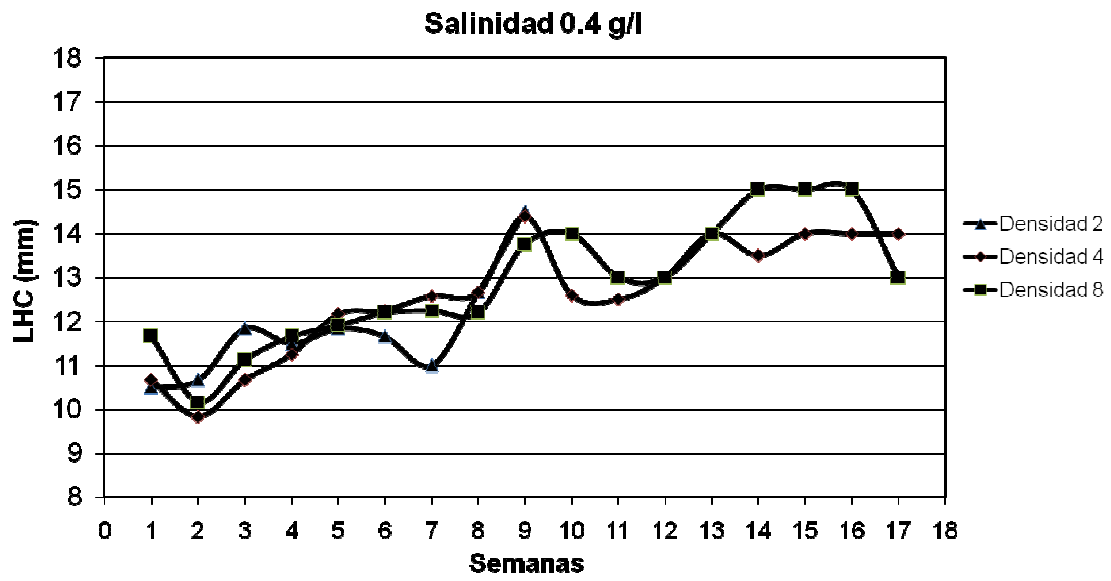


Figura 9. Crecimiento larval a distintas densidades y bajo salinidad media.

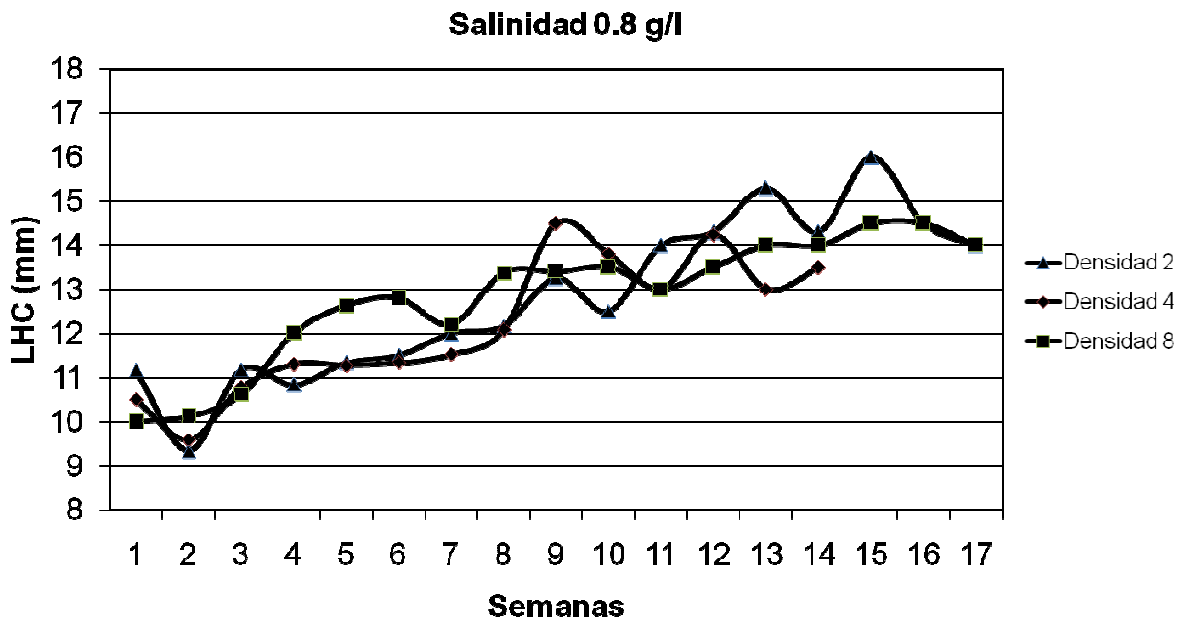


Figura 10. Crecimiento larval a distintas densidades y bajo salinidad alta.

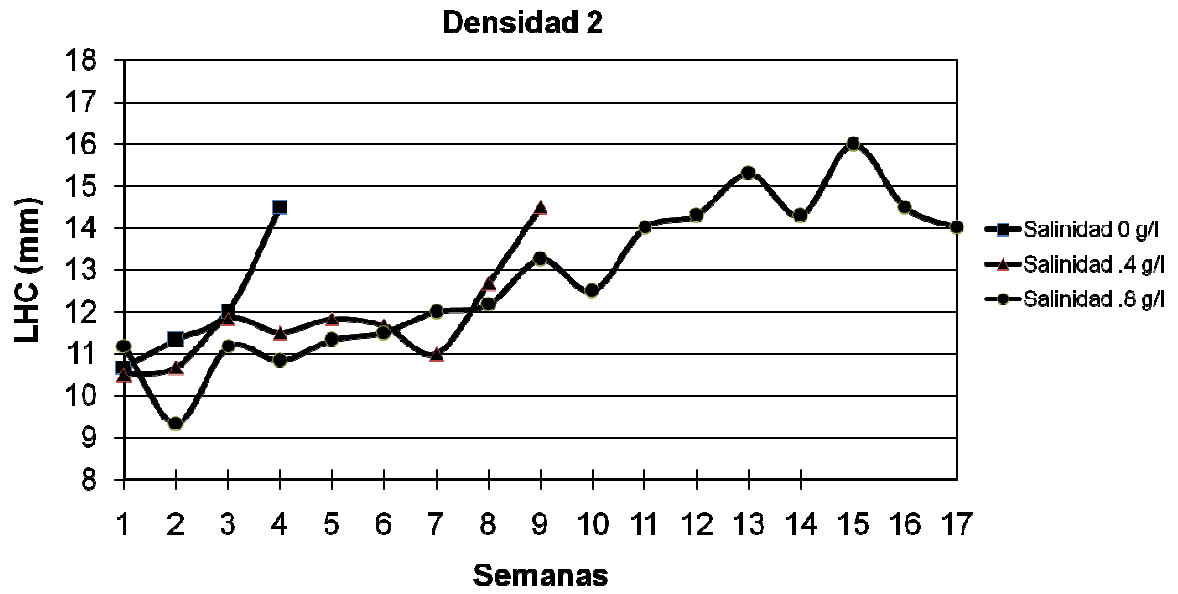


Figura 11. Crecimiento larval a distintas salinidades y bajo densidad baja.

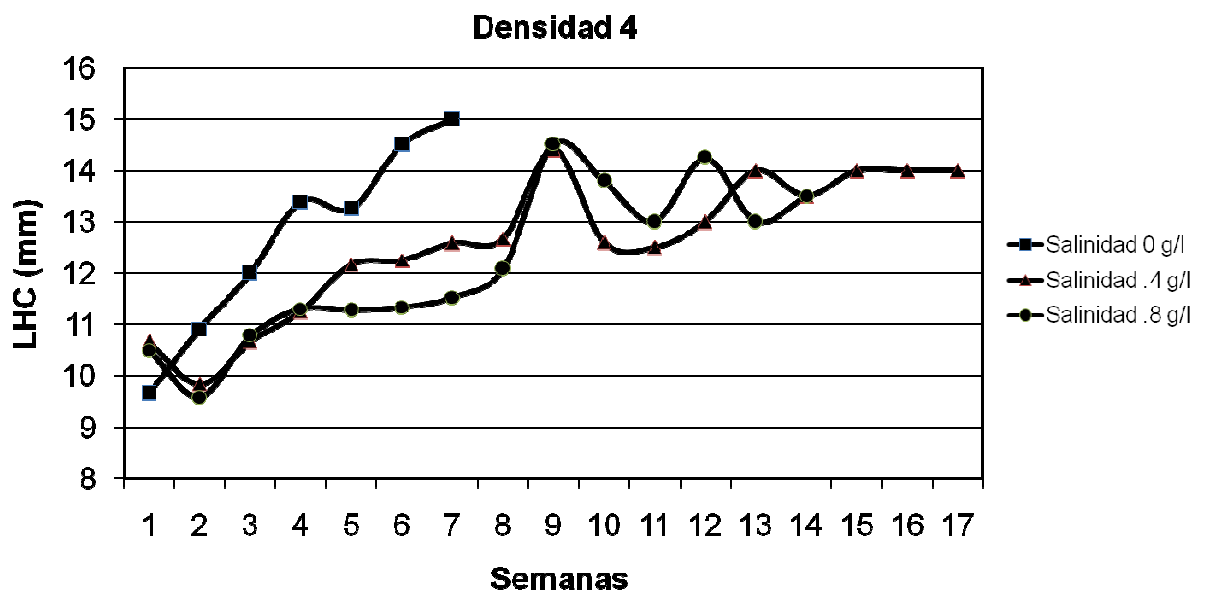


Figura 12. Crecimiento larval a distintas salinidades y bajo densidad media.

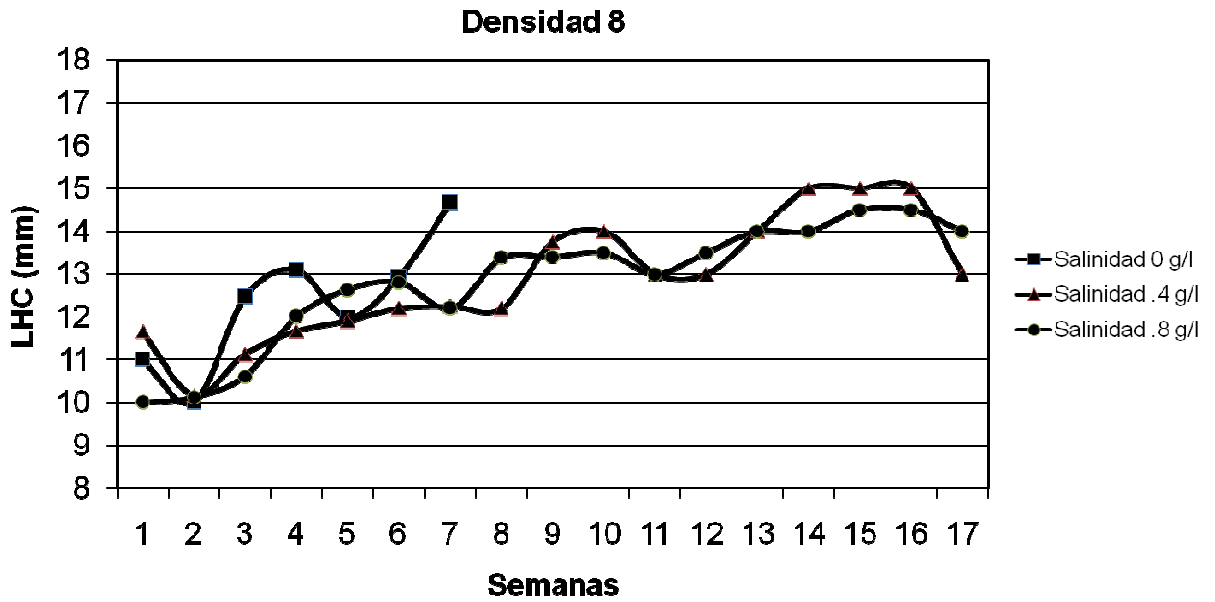


Figura 13. Crecimiento larval a distintas salinidades y bajo densidad alta.

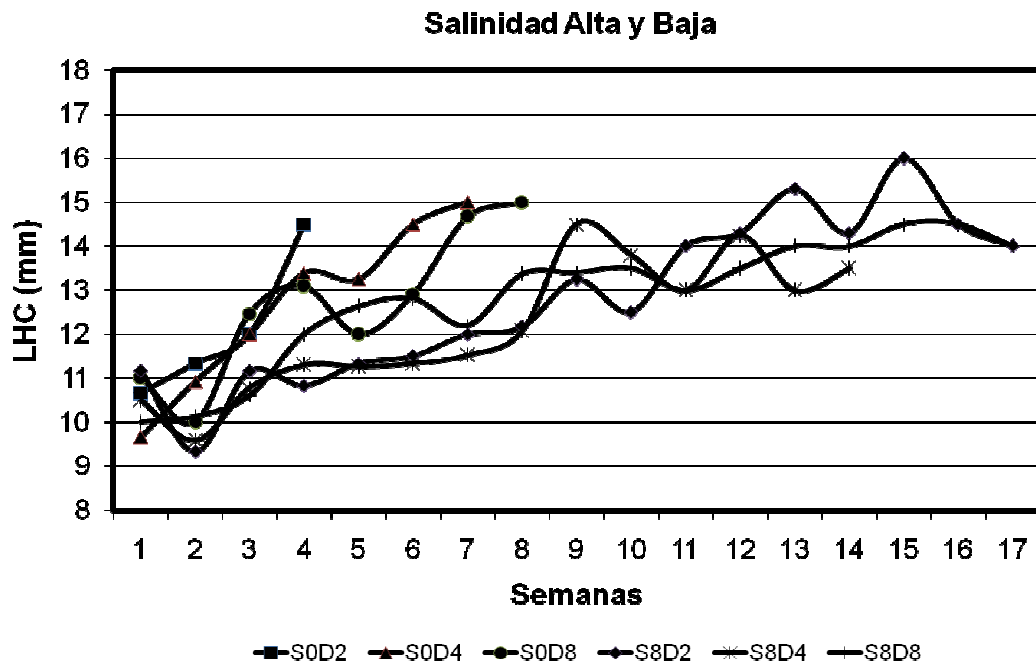


Figura 14. Crecimiento larval en las unidades bajo salinidad alta y baja.

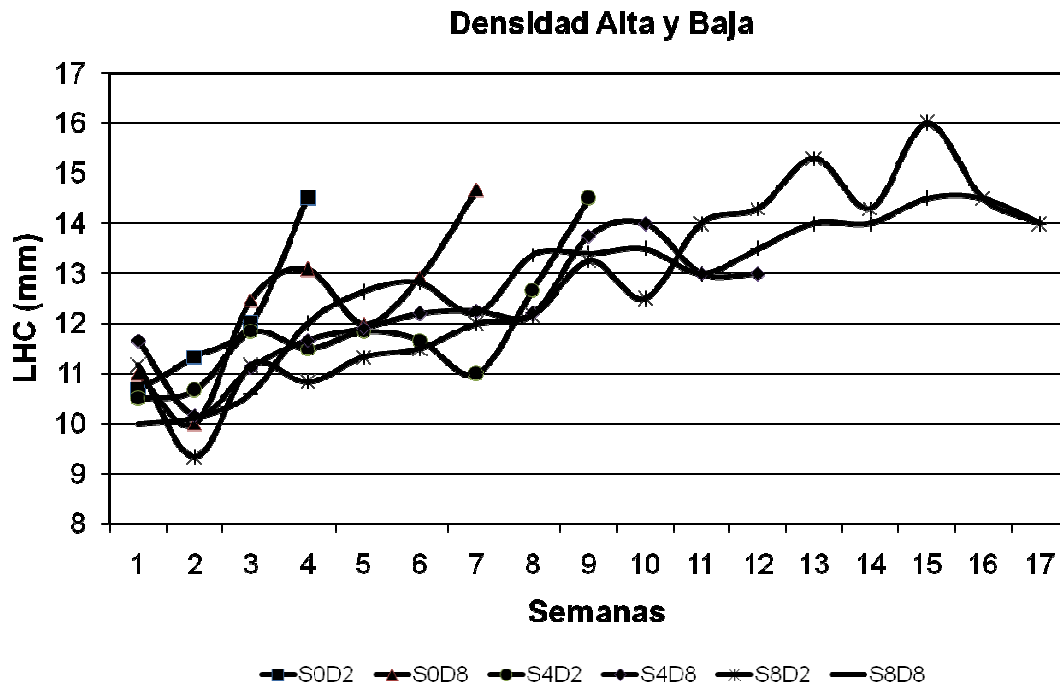


Figura 15. Crecimiento larval en las unidades bajo densidad alta y baja..

## Discusión

Los anfibios presentan variación considerable, entre y dentro de las distintas especies, en la duración del periodo larval, esta es una característica central en la historia de vida de un anfibio (Smith, 1987). Esta variación está determinada por factores genéticos y ambientales y es expresada en última instancia a través de cambios en la actividad de varias glándulas endocrinas (Denver, 1997). Muchos hábitat varían en calidad a lo largo del tiempo y del espacio, una larva que responde apropiadamente a diferentes condiciones ambientales puede tener una aptitud mayor que una con un periodo fijo de desarrollo o una talla fija a la metamorfosis (Newman, 1989). Las especies que habitan en sitios permanentes y predecibles (ej. lagos, arroyos y charcas permanentes) generalmente presentan periodos larvales largos, mientras que aquellas que habitan en sitios efímeros y no predecibles (ej. charcas temporales) presentan un crecimiento y desarrollo más rápidos (Denver, 1997). Un tiempo de desarrollo corto es particularmente



importante para sobrevivir en un ambiente desértico en donde la lluvia es impredecible y las pozas son de corta duración (Newman, 1992).

La capacidad para que un genotipo dado produzca diferentes fenotipos en distintos ambientes es definida como plasticidad (Stearns, 1992). Para los organismos que habitan ambientes heterogéneos, tanto espacial como temporalmente, la plasticidad fenotípica puede ser un medio para incrementar su aptitud (Stearns, 1992). Esta plasticidad depende de la sensibilidad a la variación ambiental, que a su vez puede ser considerada como una característica en la historia de vida que está sujeta a la selección natural. La plasticidad en especies que se reproducen en ambientes desérticos, le permite a un individuo prolongar el periodo larval y maximizar el tamaño a la metamorfosis cuando las condiciones son favorables; por otro lado, las larvas pueden evitar la muerte acelerando su metamorfosis en un hábitat que presenta condiciones estresantes (Denver, 1997).

Hay dos caminos por los cuales el ambiente puede influenciar la tasa de desarrollo larval. Primero, factores ambientales como la temperatura, salinidad y pH pueden tener efectos directos en los tejidos de las larvas alterando las reacciones bioquímicas que influyen en el desarrollo. Segundo, cambios en el ambiente pueden ser percibidos por los sistemas sensoriales y traducidos, vía sistema neuroendocrino, en cambios en la actividad de las glándulas tiroideas e intrarrenal (Denver, 1997).

### **De la Densidad Poblacional**

El estrés por densidad poblacional tiene efectos negativos en el crecimiento, sobrevivencia y tiempo a la metamorfosis en larvas de anuros, este efecto en las variables (una, algunas o todas) ha sido reportado por diversos autores (Warren, 1969; Wilbur, 1976; Semlitsch, 1987; Semlitsch y Caldwell, 1982; Semlitch *et al.*, 1988; Morey y Reznick, 2001; Richter-Boix, 2004; Dziminski, 2009;). Sin embargo hay excepciones, como la que muestra el trabajo de Brown y colaboradores (2003) en donde reportan la cría de larvas de *Litoria aurea* a densidades de 40, 80 y 160 litros y no encuentran efectos negativos en el tiempo a la metamorfosis ni en la sobrevivencia, aunque si encuentran que el peso es menor conforme aumenta la densidad, sin embargo al

---

compararlo con datos de individuos en campo, no se encuentra diferencia, sugieren que bajo una disponibilidad de recursos óptima, las densidades muy altas pueden no tener efecto en el desempeño larval. Ambientes altamente productivos (recursos altos per cápita) pueden favorecer el crecimiento, acortando el periodo larval y aumentando el tamaño a la metamorfosis (Travis, 1984), sin embargo, los ambientes en zonas áridas como el valle de Zapotitlán Salinas difícilmente presentan estas condiciones.

Nuestro estudio muestra que las densidades utilizadas no tuvieron un efecto importante en la talla ni periodo larval, pero sí en la sobrevivencia, particularmente en la observada en las larvas bajo densidad media y salinidad alta, sin embargo estos resultados fueron ampliamente afectados por la muerte de 3 de los 4 individuos presentes en dos de las tres unidades experimentales, mientras que en la última los 4 individuos sobrevivieron, las unidades bajo densidad alta y baja mostraron una sobrevivencia cercana al 100%, esto sugiere que la densidad poblacional no tiene un efecto importante en la sobrevivencia y que el resultado observado para estas unidades experimentales puede deberse a la variación de factores no controlados en este experimento. Se sugiere cautela al interpretar este resultado.

En las unidades con densidades altas, algunas larvas crecieron mucho más lento que otras, estas últimas metamorfosearon mucho más rápido que las primeras y posteriormente las larvas pequeñas comenzaron a crecer hasta metamorfosear. En larvas de anuros, la inhibición del crecimiento de los individuos pequeños por parte de los más grandes puede ocurrir por medio de parásitos (Richards, 1958) sustancias químicas (Akin, 1966) o de manera indirecta, agotando los recursos compartidos como el alimento (competencia por explotación) (Richter-Boix *et al.*, 2004). Esto provoca que exista una dicotomía en la respuesta de las larvas, aquellas larvas en alta densidad que son capaces de alcanzar rápidamente tallas más grandes que el resto, pueden metamorfosear cuando alcanzan cierto tamaño mínimo, escapando así del estrés por densidad. Posteriormente, las larvas pequeñas que quedan, si sobreviven, experimentan condiciones favorables para crecer ya que la densidad efectiva ha disminuido. Estas larvas probablemente presenten un desarrollo normal o incluso más rápido que las otras larvas y metamorfoseen a tallas similares a las alcanzadas por larvas expuestas a densidades bajas (Semlitsch y Caldwell, 1982)

Los resultados muestran que la densidad poblacional por sí sola no mostró efectos significativos en las variables medidas, sin embargo, esto no quiere decir que no pueda

existir tal efecto, sino que las densidades utilizadas en este experimento probablemente no sean lo suficientemente altas para mostrar los efectos que han sido reportados por otros autores. Si se observo un efecto de la densidad poblacional dentro de las unidades experimentales, pero justamente, al ser el conjunto de individuos por caja la unidad experimental, no se siguió el crecimiento de manera individual lo cual no permitió realizar un análisis estadístico que pudiese reflejar lo antes mencionado. Este efecto "intra unidad experimental" puede ser una fuente importante de variación en el tiempo a la metamorfosis ya que puede haber unidades en donde uno o dos individuos dominen al resto y metamorfoseen más rápido, así como puede haber otra unidad en donde cinco individuos sean los dominantes, con tiempos de desarrollo más cortos. Este mecanismo puede ser importante en especies que habitan regiones áridas o pozas temporales, ya que altas densidades pueden ser indicativas de degradación del hábitat; esto les permitiría que bajo estas circunstancias al menos algunos individuos alcanzaran rápidamente la metamorfosis y aumentasen sus probabilidades de sobrevivir.

Por otro lado, la densidad en conjunto con la salinidad si tuvo un efecto importante en el tiempo a la metamorfosis y la longitud a la metamorfosis, desafortunadamente son pocos los estudios sobre efecto sinérgico de dos o más factores reportados en la literatura y particularmente para estos dos no parece haber reportes. Sin embargo, podemos observar que la densidad poblacional a pesar de no mostrar efectos de manera individual, si lo hace de manera sinérgica, esto nos habla de la importancia de realizar estudios en donde se evalúen diversos factores de manera conjunta, que además de permitir visualizar estos efectos, son más cercanos a las condiciones reales que enfrentan diversas especies.

El crecimiento y metamorfosis larval a baja densidad fue más rápido que los otros niveles de densidad, esto probablemente se deba el llamado "Allee effect" en el cual el crecimiento es estimulado por la densidad poblacional a densidades bajas (Wilbur, 1977b). No obstante, para comparar y comprobar esto, sería necesario experimentar con larvas a densidades más bajas que las más bajas utilizadas en este estudio, esto es a densidad poblacional cero. Este efecto ha sido ligado a la suspensión de partículas de alimento en el medio producto del movimiento de las larvas, lo que probablemente facilite su aprovechamiento del recurso (Wilbur, 1977b). Aunque probablemente la explicación más obvia sea que simplemente estos individuos alcanzaron tasas óptimas de crecimiento debido a la abundancia de recursos, que al ser aprovechados les

permitieron crecer y metamorfosear más rápido que el resto de las larvas. Esto es congruente con lo reportado por Wilbur (1976), en donde menciona que además de este fenómeno, las larvas a densidades altas suelen alentar su crecimiento, pero metamorfosear rápidamente a tallas pequeñas.

## De la Salinidad

Las larvas que se mantuvieron bajo salinidad media y alta metamorfosearon a tallas menores que las larvas mantenidas a salinidades bajas, estas tallas menores han sido relacionadas a una menor sobrevivencia y a una correlación positiva entre talla a la metamorfosis y aptitud. Sin embargo, una abundancia de recursos alimenticios puede disminuir o desaparecer estas diferencias; si estas no desaparecen, o mientras lo hacen, los individuos con menor tamaño pueden ser más fácilmente depredados ya que la habilidad locomotora en anuros juveniles es talla-dependiente (Morey y Reznick, 2001). Esto es, los individuos más pequeños tienden a presentar menor velocidad y resistencia, así como menor habilidad para saltar. Se ha propuesto que la sobrevivencia puede mejorar en juveniles grandes poco tiempo después de metamorfosear debido a que su habilidad locomotora les permitiría escapar de sus depredadores (John-Adler y Morin, 1990). Otro mecanismo que actúa a favor de individuos mas grandes es que estos presentan reservas mayores de lípidos, bajo condiciones de hambruna inducida en laboratorio, las larvas más grandes, provenientes de bajas densidades, sobrevivieron una mayor cantidad de tiempo que larvas de tallas menores, provenientes de altas densidades (Scott, 1994). Esto es importante ya que el estadio terrestre que habita zonas áridas se ve forzado a permanecer inactivo durante el día para mantenerse hidratado y durante la temporada de estiaje, en donde la humedad y alimento son recursos con baja disponibilidad. Bajo estas condiciones, individuos con altas reservas de grasas pueden tener una ventaja en la sobrevivencia por que pueden mantenerse por más tiempo con sus reservas energéticas (Morey y Reznick, 2001). De acuerdo a lo anterior y a observaciones realizadas en este experimento, los juveniles de *Hyla xera*, que provienen de larvas que se desarrollaron en cuerpos de agua con salinidades bajas, podrían incrementar su desempeño y posterior aptitud frente a los juveniles pequeños que provengan de cuerpos con salinidades altas, estos últimos podrían enfrentar un riesgo mayor de depredación y un menor desempeño durante la reproducción. Esta talla pequeña y su costo asociado podrían ser compensadas tiempo después por el crecimiento durante los meses siguientes. Se ha observado que juveniles pequeños de *Spea hammondii* pasan más tiempo activos en la superficie que los de mayor tamaño,

esto puede ser la respuesta para compensar dicha talla, aunque también implica un mayor riesgo de depredación (Morey y Reznick, 2001).

Los resultados muestran que la salinidad aumenta la duración del periodo larval en larvas de *Hyla xera*, estos resultados son similares a los reportados por Chinathamby y colaboradores (2006) para larvas del hylido *Litoria edwingii*, en donde las larvas bajo la salinidad más alta (5.6 g / l) presentaron tiempo a la metamorfosis mucho mayor que las larvas desarrolladas a densidades menores (1.4, 4.2 y 5.6 g / l). La metamorfosis puede ser suprimida en elevadas salinidades por que las células ricas en mitocondrias que permiten la tolerancia a la salinidad se pierden cuando las branquias internas se deterioran (Uchiyama y Yoshizawa, 1992). Alternativamente, la salinidad puede reducir la tasa de diferenciación a lo largo del periodo larval incrementando el tiempo a, más que inhibiendo, la metamorfosis (Christy y Dickman, 2002). Niveles letales de salinidad pueden ser tolerados por periodos cortos de tiempo, esta habilidad puede tener ventajas, como decrecer la cantidad de depredadores si estos no pueden soportar los niveles de salinidad (Beebee, 1985) o reducir la competencia interespecífica si otras especies competidoras no pueden soportar los niveles de salinidad (Warner *et al*, 1993). Sin embargo, si la salinidad es muy alta, las fuentes de alimento como las algas y bacterias pueden también ser destruidas (Christy y Dickman, 2002).

En este estudio no se observaron diferencias en la sobrevivencia a causa de la salinidad, esto contrasta con los resultados varios investigadores (Rios-Lopez, 2008; Chinathamby, 2008; Christy y Dickman, 2002) que reportan que la sobrevivencia disminuye al aumentar la salinidad, un ejemplo es el de Chinathamby y colaboradores (2006) en donde reportan una sobrevivencia del 82% al 92% en salinidades bajas y medias, mientras que las larvas en salinidades más altas (5.6 g / l) tuvieron una sobrevivencia de apenas el 39%. La concentración más alta utilizada (0.8 g / l) no provoco un efecto letal o subletal, las otras dos reflejaron las concentraciones observadas en campo (0.0 – 0.4 g / l) para las pozas en donde se desarrollan las larvas de *Hyla xera*, por lo que en estas no se esperaba un efecto importante en esta variable. Es posible que los niveles letales para las larvas de esta especie sean similares a los encontrados en la zona baja de la cuenca, lo cual podría explicar en gran medida la ausencia de larvas en esa zona. Algunos detalles acerca de la distribución espacio temporal de la especie serán discutidos posteriormente. Por otro lado, los niveles de un estresor no necesitan ser letales o subletales para afectar el desempeño y aptitud de un individuo o para impactar directamente en la sobrevivencia, las concentraciones pueden

ser lo suficientemente bajas para mantener una alta sobrevivencia pero lo suficientemente altas para provocar cambios en el desarrollo larval, como lo muestra este experimento, en donde a pesar de tener una sobrevivencia muy alta (arriba del 70 %, excepto en las dos observaciones extrañas) el periodo larval y el tamaño a la metamorfosis si se vieron negativamente afectados; otro ejemplo es el publicado por Squires y colaboradores (2008) en donde encuentran que las larvas en agua salada son más lentas que las larvas en agua dulce, sugiriendo que esto reduce la velocidad de escape de las larvas, comprometiendo así su capacidad para evadir exitosamente el ataque de algún depredador. Esto nos muestra que incluso un cambio sutil en el comportamiento puede tener un efecto en el desempeño de un individuo.

Los niveles bajo los que puede sobrevivir y desarrollarse una larva de anuro varían de forma notable, *Fejervarya cancrivora* presenta una sobrevivencia mayor al 90% en 60 % de agua marina (21 g / l) y 60% de sobrevivencia en 80% de agua marina (28 g / l) en experimentos realizados *ex situ* (Dunson, 1977), el otro extremo en el cual podemos observar efectos significativos en el desempeño larval es el presentado en *Litoria aurea* en donde se puede observar que las larvas se desarrollan normalmente a concentraciones del 5% de agua marina (1.72 g / l) pero una vez duplicadas estas concentraciones, esto es al 10% de agua marina (3.5 g / l), la mortalidad observada es del 100% (Christy y Dickman, 2002). En este sentido, este estudio representa el nivel más bajo en el cual podemos observar efectos significativos en el desarrollo larval, siendo las concentraciones de 2.28% de agua marina (0.8 g / l) suficientes para aumentar el periodo larval considerablemente, además de disminuir el tamaño a la metamorfosis.

### **Microdistribución y Conservación**

La distribución espacial de el ensamble larval de anfibios probablemente este limitada por una serie de factores bióticos y abióticos entre los que destaca la concentración salina en las pozas de desarrollo, de acuerdo a las observaciones hechas en campo durante este proyecto, es posible que las larvas de *Hyla xera* se vean limitadas a los alrededores de la cuenca, esto es a las micro cuencas de las regiones altas, en donde no necesariamente se forman pozas salinas producto del arrastre de los depósitos o de suelos salinos, en muchas de estas zonas los suelos son más bien arenosos o rocosos y pueden albergar cuerpos de agua dulce (0.0 – 0.4 g/l). Por otro lado, las larvas de

*Incilius occidentalis* y *Litobathes spectabilis* han sido observadas en la parte baja de la cuenca (y cerca de Reyes Metzontla en el caso de *I. occidentalis*), en esta zona los niveles de salinidad aumentan de manera gradual desde 0.5 g/l en las cercanías de Zapotitlán Salinas hasta alcanzar los 6.2 g/l cerca de San Gabriel Chilac; esta última concentración es 15.5 veces mayor a las zonas que presentaron larvas de *H. xera* (Ver Figura 17). De acuerdo a los resultados experimentales, esto pudiese estar limitando fuertemente la distribución de *H. xera* dentro del valle, ya que niveles de 0.8 g/l incrementan significativamente la longitud del periodo larval, aumentando así el riesgo de mortandad por depredación o por desecación de los cuerpos de agua o incluso por el arrastre de las corrientes fortísimas que se producen dentro del valle, conocidas como “barrancadas”, que son producto de la concentración y desplazamiento masivo de la precipitación pluvial a través del sistema de barrancas.

Otros estudios han notado la relación entre distribución y niveles de salinidad, Ruibal (1959) estudia varias poblaciones de *Rana pipiens* en el desierto de California y encuentra que la población más abundante se encuentra en zonas con niveles de salinidad de entre 1.75 y 3 g / l. Esto es congruente con sus experimentos *ex situ* en donde encuentra que la concentración máxima letal para estos es de 5 g / l (aunque considera semiletal a las concentraciones de 3.8 a 4.6 g / l ), también encuentra adultos (pero no larvas) en zonas con concentraciones cercanas o mayores a las letales para los huevos y menciona que las concentraciones letales para estos es de cerca de 10 g / l, esto es importante ya que la sola presencia de adultos puede no asegurar que la especie este prosperando en la zona. Larvas y adultos son vulnerables a la salinidad debido a la alta permeabilidad de su integumento. Sin embargo, mientras que el riñón y el mecanismo osmorregulatorio está totalmente desarrollado en adultos, en estadios tempranos larvales los riñones pronefricos se desarrollan progresivamente, hasta alcanzar su máximo desarrollo en estadios más tardíos, incrementando la posibilidad de fallo renal bajo estrés osmótico en larvas tempranas comparadas con larvas tardías o adultos (Chinathamby *et al.*, 2006).

Es necesario evaluar el efecto de la salinidad en las distintas especies de anfibios, así como sus patrones de distribución dentro del valle y su relación con los niveles de salinidad presentes. Esto, sin duda, pudiese y debiese ser una herramienta en la toma de decisiones concernientes a la planeación y desarrollo de las zonas prioritarias dentro de la reserva de la biosfera.



---

¿De dónde vienen estas sales? Las concentraciones salinas son muy pocas o prácticamente nulas en los distintos tipos de suelo que forman el valle, es muy probable que la mayor parte de la salinidad provenga de aguas subterráneas que se infiltran y emergen a lo largo del lecho del río y que a su paso disuelven los estratos salinos subterráneos que se han acumulado a lo largo de miles de años de procesos geológicos (Daniel Muñoz, com pers). Otra posible fuente de salinización de las aguas superficiales es la proveniente de las salineras que se distribuyen a lo largo de la parte baja del río, estas utilizan agua subterránea que posteriormente evaporan para comercializar la sal que se concentra, sin embargo, las lluvias que arrastran el producto, la lixiviación y las fugas pudiesen aportar directamente sales a los afluentes.

¿Pero, por que hace apenas cinco años se reportaba esta especie como abundante a lo largo del río Salado (Canseco-Márquez *et al.*, 2003) y en los últimos dos años no se ha encontrado en el afluente principal de este? Primero, las represas que se han construido a lo largo de los distintos tributarios al río Salado pudiesen estar disminuyendo la cantidad de agua que fluye a través de estos, disminuyendo de esta manera la cantidad y calidad de las charcas y arroyos temporales que se forman y aumentando la densidad poblacional, el riesgo por depredación en aguas someras y disminuyendo la duración de estos cuerpos, esto aumenta indirectamente la concentración salina causada por la pronta desecación de dichos cuerpos y es posible que esto impacte directamente en el ciclo de vida de esta especie. Por otro lado, también es posible que las fluctuaciones climáticas (como la cantidad de precipitación anual) tengan un efecto en la distribución de esta especie, posiblemente la población del valle presente un comportamiento más bien de tipo metapoblacional en donde en condiciones favorables algunos individuos emigren de pequeñas poblaciones y colonicen nuevos hábitats disponibles y en condiciones desfavorables, algunas de estas pequeñas poblaciones se pierdan, esto es particularmente importante ya que se han reportado poblaciones al norte del Valle de Zapotitlán, estas podrían, al perderse la o las poblaciones cercanas (afluente principal del valle), quedar totalmente aisladas lo cual disminuiría el potencial de recolonización después de una extinción local, al menos por parte de las poblaciones que habitan hacia el centro-sur del valle. Sin embargo, es necesario monitorear a largo plazo para detectar si los cambios en la microdistribución de esta especie se deben a disturbios antropogénicos, fluctuaciones poblacionales climático-temporales o a ambas.

La distribución temporal del ensamble larval de anfibios está dividida en dos grandes grupos: *Incilius occidentalis* y *Litobathes spectabilis* se reproducen a finales de la época de lluvias, entre los meses de octubre y noviembre y las larvas pueden ser observadas



hasta el mes de abril, durante la mayor parte de la época de secas. Por otro lado tenemos a *Hyla xera*, *Hyla arenicolor* y *Spea multiplicata*, que se reproducen únicamente durante la época de lluvias, en el caso de *H. xera* las larvas pueden ser observadas generalmente hasta el mes de octubre, aunque Canseco-Márquez (*et al*, 2003) reporta la presencia de una larva de *H. xera* entre un grupo de *I. occidentalis* en el mes de enero. También hay dos especies más de anuros en el valle, *Eleuterodactylus augusti* y *Eleuterodactylus nitidus*, sin embargo, estos presentan desarrollo directo, es decir, sus huevos se desarrollan fuera del agua y no presentan estadio larval que pudiese interactuar con las larvas de las otras especies.

Es que posible que uno de los factores que moldeo esta división temporal sea la competencia interespecífica, posiblemente *I. occidentalis* y *L. spectabilis* hayan sido desplazados de las pozas que ocupaban los hylidos y *Spea* y solo los organismos que pudieron adaptarse a las condiciones de los cuerpos durante la sequia hayan sobrevivido, estableciendo las poblaciones que actualmente conocemos. Por otro lado, durante la época de lluvias las tormentas forman potentes barrancadas que arrasan las pozas y arroyos temporales en donde se desarrollan las larvas de anfibios, una especie con un desarrollo larval que no sea lo suficientemente corto como para metamorfosear entre estos eventos muy probablemente no podría establecerse en esta época, como puede ser el caso de *L. spectabilis* e *I. occidentalis*, así mismo los adultos están expuestos a ser arrastrados por las fuertes corrientes, disminuyendo su probabilidad de sobrevivencia, por otro lado, los adultos de *Hyla xera* han sido observados trepando por las paredes de las barrancas cuando estos potentes fenómenos se presentan, evitando así ser arrastrados, las larvas de esta especie en condiciones optimas pueden desarrollarse en unas cuantas semanas y probablemente algunas de ellas sean capaces de metamorfosear entre los lapsos de aparición de las barrancadas, sobre todo al inicio, durante la canícula y al final de la temporada de lluvias, cuando las precipitaciones torrenciales son menos frecuentes. También se observo que esta especie se reproduce constantemente a lo largo de varios meses, esto asegura un suministro constante de huevos y larvas en los distintos cuerpos de reproducción, que a su vez, aumenta la probabilidad de que algunas de estas larvas encuentren condiciones ambientales favorables para alcanzar el estadio juvenil.

Para comprender mejor cuales son los factores que limitan la distribución y desarrollo del ensamble de anfibios dentro del valle de Zapotitlán Salinas, es necesario evaluar el efecto de distintos factores como la competencia intraespecífica, depredación,

---

temperaturas, oxígeno disuelto, cobertura vegetal etc. Esto puede proveer un aproximación a la realidad que permita la certera toma de decisiones para la conservación de estas especies, así también, es posible utilizar a manera de base este trabajo, para planear futuros proyectos en distintas zonas salinas dentro y fuera de nuestro país. Finalmente quisiera resaltar la importancia que tienen los cuerpos de agua salinos en México, de acuerdo a Alcocer (1997) los cuerpos de agua salinos no son un fenómeno tan raro en la naturaleza, solamente los lagos salinos contienen el 0.007% del agua del planeta, mientras que los lagos de agua dulce constituyen el 0.006%. Se cree que en México existe una proporción similar a la mundial entre estos dos tipos de cuerpos, debido a que cuatro de los ocho lagos más grandes del país son salinos. Estos cuerpos están ubicados principalmente en cuencas de regiones semiáridas, sin embargo, prácticamente en todos los estados se encuentran lagos, ríos, manantiales o pozos con un elevado contenido de sales (Figura 16), que albergan parte de la biodiversidad mexicana (Alcocer, 1997). Esto nos muestra la importancia que tienen estos cuerpos de agua salinos en México y el mundo, sin embargo es muy poco el estudio que se ha hecho de estos sistemas (Williams, 1996). Es necesario implementar estudios que nos permitan entender las interacciones entre las comunidades presentes en estos y más aun en los países que concentran un alto porcentaje de la diversidad batracofaunística mundial, como es el caso de México. Este trabajo pudiese en un futuro ser replicado en distintas especies que habitan estas zonas, algunas de ellas endémicas, con el fin de conocer cuáles son los efectos del deterioro ambiental y/o fluctuaciones climáticas sobre los niveles de salinidad y su relación con las especies de anfibios que las habitan.



Figura 16. Distribución de los lagos salinos en México. Tomado de Alcocer, 1997.

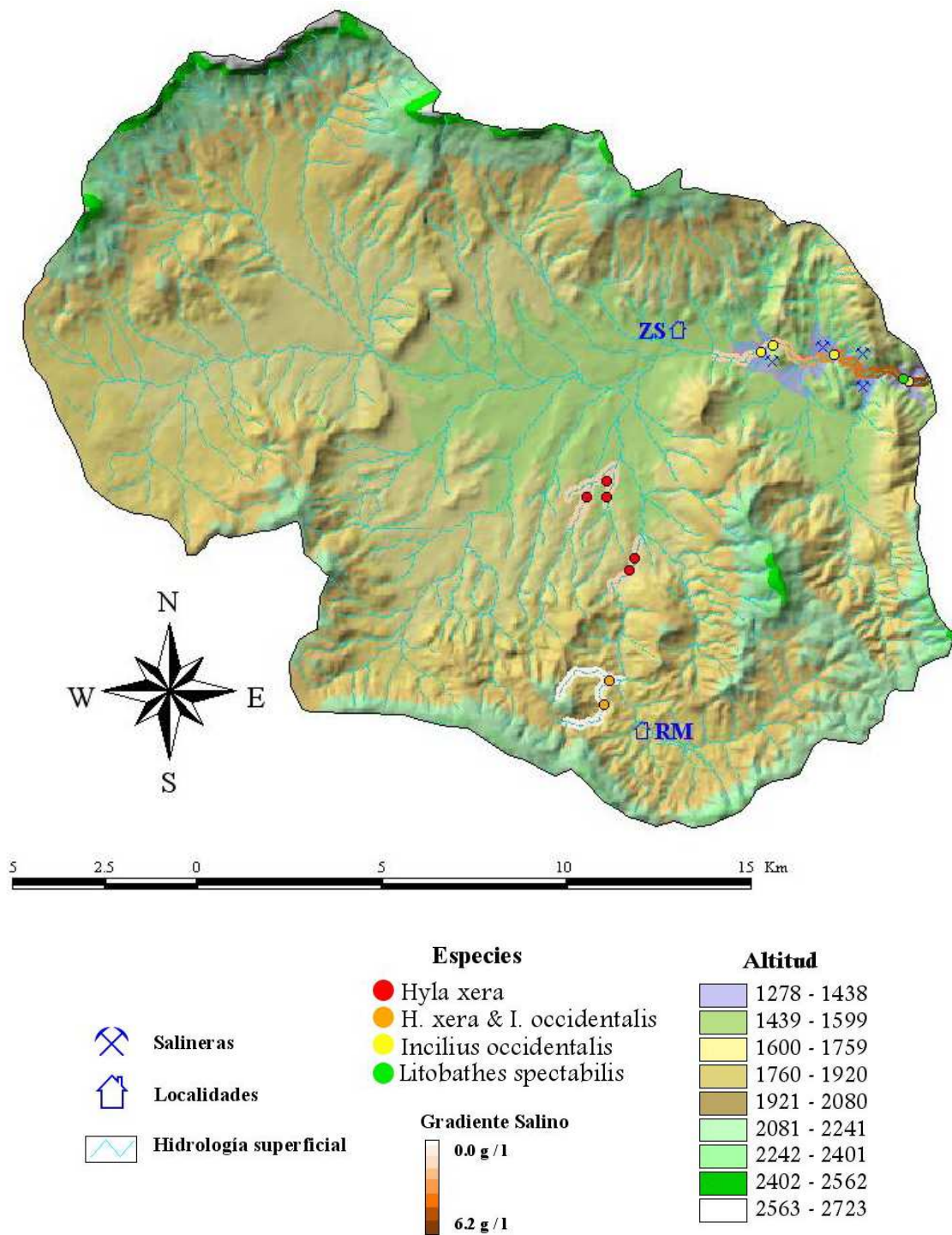


Figura 17. Distribución espacial del ensamble de anfibios y su relación con el gradiente salino y altitudinal presente en las áreas muestreadas dentro del Valle de Zapotitlán de las Salinas. Las concentraciones salinas corresponden a datos tomados en la temporada de reproducción de cada especie. Más datos disponibles en el Apéndice 4.

## Conclusiones

- Concentraciones altas de salinidad aumentan el periodo de desarrollo larval y disminuyen el tamaño a la metamorfosis en larvas de *Hyla xera*.
- Los niveles de salinidad utilizados en este experimento no afectan de manera directa la sobrevivencia de larvas de *Hyla xera*.
- Los niveles de densidad poblacional utilizados en este experimento no tienen un efecto significativo por si solos en el desarrollo de las larvas de *Hyla xera*.
- La interacción entre salinidad y densidad poblacional tiene un efecto negativo en la duración del periodo larval y en el tamaño a la metamorfosis de las larvas de *Hyla xera*.

## Recomendaciones

- Establecer un programa de monitoreo constante de los factores que afectan el desarrollo larval en *Hyla xera* y en las otras especies de anfibios de la zona.
- Determinar el efecto de la salinidad y densidad poblacional en las distintas especies de anfibios presentes en el valle.
- Estudiar la distribución espacial del estadio adulto del ensamble de anfibios presentes en valle y las causas que la determinan.
- Difundir los resultados de experimentos similares entre la población y niveles de gobierno locales tratando de impactar en la concientización y toma de decisiones acerca del aprovechamiento de los recursos naturales en las zonas que presentan sitios de desarrollo para los anfibios.

## Literatura Citada

- Abbadié-Bisogno, K. M. 2004. Algunos aspectos ecológicos de *Hyla xera* e *Hyla arenicolor* (Amphibia: Anura: Hylidae) en la zona árida de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis para obtener el título de Bióloga. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad nacional Autónoma de México. 49 pp.
- Akin, G. C. 1966. Self-Inhibition of growth in *Rana pipiens* tadpoles. *Physiological Zoology*. 39: 341-356.
- Alcocer, J. 1997. Biodiversidad y lagos salinos. *Biodiversitas*. CONABIO. 16: 7-14.
- Alford, R. A. and R. N. Harris. 1988. Effects of larval growth history on anuran metamorphosis. *American Naturalist*. 131:91-106.
- Arizmendi, M. C., G. Ávila, F. López, M. Murguía, S. Rodríguez and S. Solorzano. (eds). 2007. Deterioro Ambiental en Zonas Áridas. Una década de experiencia multidisciplinaria del proyecto UBIPRO. FES Iztacala, UNAM. México. 322 pp.
- Beebee, T. J. C. 1985. Salt tolerances of natterjack toad (*Bufo calamita*) eggs and larvae from coastal and inland populations in Britain. *Herpetological Journal*. 1: 14-16.
- Berven, K. A. and B. G. Chandra. 1988. The relationship among egg size, density and food level on larval development in the bull frog (*Rana silvatica*). *Oecología*. 75: 67-72.
- Berven, K. A. and D. E. Gill. 1983. Interpreting geographic variation in life-history traits. *American Zoologist*. 23:85-97.
- Boone, M. D. and Semlitsch, R. D. 2001. Interactions of an Insecticide with larval density and predation in experimental amphibian communities. *Conservation Biology*. 15(1): 228-238.
- Boone, M. D., Semlitsch, R. D., Fairchild, J. F. and B. B. Rothermel. 2004. Effects of an insecticide on amphibians in large-scale experimental ponds. *Ecological Applications*. 14(3): 685-691.
- Boone, M. D., Semlitsch, R. D., Little, E. E. and M. C. Doyle. 2007. Multiple Stressors in Amphibian Communities: Effects of Chemical Contamination, Bullfrogs, and Fish. *Ecological Applications*. 17(1): 291-301.
- Boorse, G. C. and R. J. Denver, 2004. Endocrine mechanisms underlying plasticity in metamorphic timing in spadefoot toads. *Integrative and Comparative Biology*. 43(5):646-657.
- Browne, R. K., Pomeroy, M. and Hamer, A. J. 2003. High density effects on the growth, development and survival of *Litoria aurea* tadpoles. *Aquacultura*. 215: 109-121.

- Canseco-Márquez L., G. Gutiérrez-Mayén and Mendelson III, J. R. 2003. Distribution and natural history of the hylid frog *Hyla xera* in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México, with a description of the tadpole. *Southwestern Naturalist*. 48(4): 670-675.
- Canseco-Márquez L. y M. G. Gutiérrez-Mayén. 2006. Guía de Campo de los Anfibios y Reptiles del Valle de Zapotitlán, Puebla. Sociedad Herpetológica Mexicana A. C. Escuela de Biología, BUAP. 1-78 pp.
- Chinathamby K, Reina, R. D., Bailey, P. C. E. and Lees B. K. 2006. Effects of salinity on the survival, growth and development of tadpoles of the brown tree frog, *Litoria ewingii*. *Australian Journal of Zoology*. 54: 97–105.
- Christy, M.T. y Dickman, C.R. 2002. Effects of salinity on tadpoles of the green and golden bell frog (*Litoria aurea*). *Amphibia-Reptilia*. 23: 1-11.
- Denver, R. J. 1997. Proximate mechanism of proximate plasticity in amphibian metamorphosis. *American Zoologist*. 37(2): 172-184.
- Denver, R. J., N. Mirhadi, and Phillips, M. 1998. Adaptive plasticity in amphibian metamorphosis. Response of *Scaphiopus hammondi* to habitat dissection. *Ecology*. 79:1859.
- Dunson, W. A. 1977. Tolerance to high temperature and salinity by the philippine frog, *Rana cancrivora*. *Copeia*. 2: 375-378.
- Dziminski, M. A. 2009. Intraspecific competition in the larvae of quacking frogs (*Crinia georgiana*). *Copeia*. 4: 724-726.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. 246 pp.
- Gómez-Mestre, I. and Trejo, M. 2003. Local adaptation of an anuran amphibian to osmotically stressful environments. *Evolution*. 57(8): 1889-1899.
- Gordon, M. S. and Tucker, V. A. 1965. Osmotic regulation in the tadpoles of the crab-eating frog (*Rana cancrivora*). *Journal of Experimental Biology*. 42: 437-445.
- Gosner, K. L. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica*. 16: 183-190.
- Gromko, M. H., F. S. Mason, and Smith-Gill, S. J. 1973. Analysis of crowding effect in *Rana pipiens* tadpoles. *Journal of Experimental Zoology*. 186: 63-71.
- John-Adler, H. B. and Morin, P. J. 1990. Effects of larval density on jumping ability and stamina in newly metamorphosed *Bufo woodhousii fowleri*. *Copeia*. 1990: 856–860.
- Laurila, A. and Kujasalo, J. 1999. Habitat duration, predation risk, and phenotypic plasticity in common frog (*Rana temporaria*) tadpoles. *Journal of Animal Ecology*. 68: 1123-1132.



- Mata-Silva, V. 2000. Estudio comparativo del ensamble de anfibios y reptiles en dos localidades de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. 62 pp.
- Márquez-García, M., Correa-Solís, M., Sallaberry, M. and Méndez, M. A. 2009. Effects of pond drying on morphological and life-history traits in the anuran *Rhinella spinulosa* (Anura:Bufonidae). *Evolutionary Ecology Research*. 11: 803-815.
- Mendelson, J. R., and Campbell, J. A. 1994. Two new species of the *Hyla sumichrasti* group (Amphibia: Anura: Hylidae) from Mexico. *Proceedings of Biological Society of Washington*. 107(2): 398-409.
- McCollum, S. and Leimberger, J. 1997. Predator-induced morphological changes in an amphibian: Predation by dragonflies affects shape and color. *Oecologia*. 109: 615-621.
- Morey, S. and Reznick, D. 2001. Effects of larval density on postmetamorphic spadefoot toads (*Spea hammondi*). *Ecology*. 81: 1736-1749.
- Newman, R. A. 1987. Effects of density and predation on *Scaphiopus couchii* tadpoles in desert ponds. *Oecologia*. 71:301-307.
- Newman, R. A. 1989. Developmental plasticity of *Scaphiopus couchii* tadpoles in an unpredictable environment. *Ecology*. 70: 1775-1787.
- Newman, R. A. 1992. Adaptive plasticity in amphibian metamorphosis. *Bioscience*. 42: 671-678.
- Newman, R. A. 1994. Effects of changing density and food level on metamorphosis of a desert amphibian, *Scaphiopus couchii*. *Ecology*. 75: 1085-1096.
- Oliver-López, L. 2006. Ecología de la reproducción y desarrollo larvario en un ensamble de anuros en la región de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Maestría (Maestría en Ciencias Biológicas [Biología Ambiental]). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 41 pp.
- Oliveros-Galindo, O. 2000. Descripción estructural de las comunidades vegetales en las terrazas aluviales del Río Salado, en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Licenciatura (Biólogo). FES Iztacala, UNAM. 81 pp.
- Osorio, B. O., A. Valiente-Banuet, P. Dávila and Medina, R. 1996. Tipos de vegetación y diversidad  $\beta$  en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 59: 35-38.
- Richards, C. M. 1958. The inhibition of crowd in *Rana pipiens* tadpoles. *Physiological Zoology*. 31: 31: 138-151.
- Rios-Lopez, N. 2008. Effects of increased salinity o tadpoles of two anurans from a Caribbean coastal wetland in relation to their natural abundance. *Amphibia-Reptilia*. 29: 7-18.

- Ritcher-Boix, A., Llorente A. G., Montori, A. 2004. Responses to competition effects of two anuran tadpoles according to life-history traits. *Oikos*. 106: 39-50.
- Ruibal, R. 1959. The ecology of a brackish water population of *Rana pipiens*. *Copeia*. 4: 313-322.
- Scott, D. E. 1994. The effect of larval density on adult demographic traits in *Ambystoma opacum*. *Ecology*. 75: 1383-1396.
- Semlitsch, R. D. 1987. Density-dependent growth and fecundity in the paedomorphic salamander *Ambystoma Talpoideum*. *Ecology*. 68(4): 1003-1008.
- Semlitsch, R. y Caldwell, J. P. 1982. Effects of Density of Growth, Metamorphosis, and Survivorship of Tadpoles of *Scaphiopus Holbrooki*. *Ecology*. 63(4): 905-911.
- Semlitsch, R. D., Scott, D. E. y Pechmann, J. 1988. Time and size at metamorphosis related to adult fitness in *Ambystoma talpoideum*. *Ecology*. 69: 184-192.
- Skelly, D. K. and Werner, E. E. 1990. Behavioral and life-historical responses of larval american toads to an odonate predator. *Ecology*. 71: 2313–2322.
- Smith, D. C. 1987. Adult recruitment in chorus frogs: Effects of size and date at metamorphosis. *Ecology* 68:344–350.
- Squires, Z. E., Bailey, P. C. E., Reina R. D. and Wong B. B. M. 2008. Environmental deterioration increases tadpole vulnerability to predation. *Biology Letters*. 4: 392-394.
- Stearns, S. 1992. *The evolution of life histories*. Oxford University Press, New York.
- Travis, J. 1984. Anuran size at metamorphosis: experimental test of a model based on intraspecific competition. *Ecology* 65: 1155-1160.
- Travis, J. and Trexler, J. 1986. Interactions among factors affecting growth, development, and survival in experimental populations of *Bufo terrestris* (anura: Bufonidae). *Oecologia*. 69: 110–116.
- Uchiyama, M. y Yoshizawa, H. 1992. Salinity tolerance and structure of the external and internal gills in tadpoles of the crab-eating frog, *Rana cancrivora*. *Cell Tissue Res*. 267: 35–44.
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., Arizmendi, M. C., Villaseñor, J. L. y Ortega, J. 2000. La Vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Sociedad Botánica Mexicana*. 67: 24-74.
- Wake, D. B. and Vredenburg, V. T. 2008. Are we on midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the Natural Academy of Science*. 105: 11466-11473.

- 
- Warner, C. S., Travis, J. and Dunson, W. A. 1993. Effect of pH variation on interspecific competition between two species of hylid tadpoles. *Ecology*. 74(1): 183-194.
  - Warren, Y. B. 1969. An analysis of density effects and predation in *Bufo americanus* tadpoles. *Ecology*. 50 (4): 632-644.
  - Wilbur, H. and Fauth, J. 1990. Experimental aquatic food webs: Interactions between two predators and two prey. *American Naturalist*. 135: 176–241.
  - Wilbur, H. M. 1972. Competition, predation, and structure of *Ambystoma-Rana sylvatica* community. *Ecology*. 53: 3–21.
  - Wilbur, H. M. 1976. Density dependent aspects of metamorphosis in *Ambystoma* and *Rana sylvatica*. *Ecology* 57: 1289–1296.
  - Wilbur, H. M. 1977. Density dependent aspects of growth and metamorphosis in *Bufo americanus*. *Ecology* 58: 196–200.
  - Wilbur, H. M. 1977b. Interactions of food level and population density in *Rana sylvatica*. *Ecology* 58: 206–209.
  - Wilbur, H. M. and Collins, J. P. 1973. Ecological aspects of amphibian metamorphosis. *Science* 182: 1305–1314.
  - Wilbur H. M. 1982. Competition between tadpoles of *Hyla femoralis* and *Hyla gratiosa* in laboratory experiments. *Ecology*. 63(2): 278-282.
  - Williams, W.D. 1996. The largest, highest and lowest lakes of the world: Saline lakes. Peter Kilham Memorial Lecture, Sao Paulo, 1995. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 61-79.
  - Woolrich-Piña, G. A., L. Oliver-López y J. A. Lemos-Espinal. 2005. Anfibios y reptiles del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. UNAM - CONABIO. México. 54 pp.

## Apéndices

**Apéndice 1.** Muestra los valores medios por unidad experimental, estos valores fueron utilizados en el Análisis estadístico y promediados para obtener el Apéndice 2. S (%) = Porcentaje de Supervivencia; LHC (mm) = Longitud hocico-cloaca en milímetros; DM = Días a la Metamorfosis.

Densidad	salinidad	LHC (mm)	S (%)	DM
2	0	14	100	11
2	0	15	100	18
2	0	15	100	18
4	0	14	100	30
4	0	14	100	26
4	0	15	75	18
8	0	13,75	100	27,57
8	0	14,5	100	21,28
8	0	14	87,5	36,66
2	4	14	50	52
2	4	14	100	39
2	4	14	100	46
4	4	13	50	62
4	4	14	75	65
4	4	13,5	75	60
8	4	14,125	87,5	55,5
8	4	14	62,7	54
8	4	14	87,5	50
2	8	12,66	100	81
2	8	13	100	70
2	8	13	100	55
4	8	14	100	62
4	8	14	25	65
4	8	14	25	78
8	8	13,25	75	62
8	8	12,66	87,5	50
8	8	13,5	100	48

**Apéndice 2.** Muestra los valores medios (tres repeticiones) de las variables medidas bajo los distintos tratamientos. S (%) = Porcentaje de Supervivencia; LHC (mm) = Longitud hocico-cloaca en milímetros; DM = Días a la Metamorfosis.

Salinidad	Densidad	S (%)	LHC (mm)	DM
0	2	100	14,66	15,6
0	4	91,66	13,66	24,86
0	8	95,83	13,75	28,5
4	2	83,3	14	31,25
4	4	66,66	13	49,66
4	8	79,16	14,12	45,83
8	2	100	12,6	59,5
8	4	100	14	68,33
8	8	87,5	13,25	55

**Apéndice 3.** Muestra los valores medios de crecimiento en milímetros para las larvas bajo los distintos tratamientos y a lo largo de las 17 semanas del experimento. S0: Salinidad 0.0 g/l, S4: Salinidad 0.4 g/l, S8: Salinidad 0.8 g/l. D2: Densidad 2, D4: Densidad 4, D8: Densidad 8.

Tratamientos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
S0D2	10.67	11.34	12	14.5					
S0D4	9.66	10.92	12	13.39	13.25	14.5	15		
S0D8	11	10	12.47	13.09	12	12.915	14.67	15	
S4D2	10.5	10.67	11.83	11.5	11.84	11.67	11	12.67	14.5
S4D4	10.67	9.83	10.67	11.25	12.17	12.25	12.54	12.67	14.4
S4D8	11.66	10.17	11.12	11.67	11.91	12.2	12.25	12.2	13.75
S8D2	11.17	11.34	11.17	10.84	11.34	11.5	12	12.17	13.25
S8D4	10.5	9.58	10.78	11.3	11.27	11.33	11.53	12.08	14.5
S8D8	10	10.125	10.61	12	12.63	12.81	12.2	13.38	13.4

Tratamientos	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17
S0D2								
S0D4								
S0D8								
S4D2								
S4D4	12.6	12.5	13	14	13.5	14	14	14
S4D8	14	13	13	14	15	15	15	13
S8D2	12.5	14	14.3	15.3	14.3	16	14.5	14
S8D4	13.8	13	14.25	13	13.5			
S8D8	13.5	13	13.5	14	14	14.5	14.5	14

**Apéndice 4.** Muestra algunos datos tomados en campo y utilizados en la elaboración de la Figura

UTM (Datum NAD83)	Coordenadas (lat & long)	Salinidad (g/l)	Especie	Altitud (msnm)	Nombre
2026964.835 N 669947.534 E	18°19'32.34" N 97°23'30.06" O	6.2	<i>Incilius occidentalis</i>	1304	Mina
2025865.281 N 667832.388 E	18°18'57.18" N 97°24'42.96" O	5.4	<i>Incilius occidentalis</i>	1354	Hacia la Mina
2025958.019 N 667678.296 E	18°19'00.24" N 97°24'48.18" O	5.4	<i>Litobathes berlandieri</i>	1357	Hacia la Mina
2026330.375 N 666370.412 E	18°19'23.22" N 97°25'56.30" O	3.5	<i>Incilius occidentalis</i>	1395	El Castillo
2026914.062 N 663878.338 E	18°19'32.40" N 97°26'57.31" O	0.8	<i>Incilius occidentalis</i>	1420	Cuthá
2026725.232 N 663546.089 E	18°19'26.35" N 97°27'08.68" O	0.5	<i>Incilius occidentalis</i>	1422	Muestras Edg
2022472.747 N 658434.963 E	18°17'09.42" N 97°30'03.94" O	0.4	<i>Hyla xera</i>	1580	Puente xera
2022940.707 N 658664.302 E	18°17'24.58" N 97°29'56.00" O	0.4	<i>Hyla xera</i>	1565	Pasando el Puente
2022488.667 N 659024.849 E	18°17'09.78" N 97°29'43.85" O	0.8	<i>Hyla xera (solo adultos)</i>	1569	Charcote
2020712.966 N 659851.596 E	18°16'11.80" N 97°29'16.20" O	0.0 - 0.4	<i>Hyla xera</i>	1635	Cascada
2020343.380 N 659697.514 E	18°15'59.82" N 97°29'21.55" O	0.0 - 0.4	<i>Hyla xera</i>	1640	Puestas
2017145.209 N 659113.185 E	18°14'15.95" N 97°29'42.34" O	0.0 - 0.4	<i>Hyla xera &amp; l. occ</i>	1782	Después de Represa
2016425.623 N 658941.071 E	18°13'52.59" N 97°29'48.40" O	0.4	<i>Hyla xera &amp; l. occ</i>	1830	Metzontla
2027310.434 N 673055.511 E	18°19'42.68" N 97°21'44.65" O			1248	SGCH (San Gabriel Chilac)
2027372.830 N 661154.360 E	18°19'48.07" N 97°28'29.95" O			1491	ZS (Zapotitlán Salinas)
2015674.480 N 660088.908 E	18°13'27.85" N 97°29'09.54" O			1815	RM (Reyes Metzontla)
2026557.892 N 663680.232 E	18°19'20.87" N 97°27'04.16" O			1436	Salinera 1
2026658.307 N 665607.949 E	18°19'23.60" N 97°25'58.48" O			1394	Salinera 2
2026427.481 N 666400.405 E	18°19'15.87" N 97°25'31.56" O			1417	Salinera 3 47
2026079.460 N 666615.129 E	18°19'04.49" N 97°25'24.35" O			1377	Salinera 4