



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**

**POSGRADO EN GEOGRAFÍA**

**Caracterización hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas (Puebla) y su influencia en la distribución de los anfibios: aspectos geográficos, ecológicos y de conservación.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE**

**DOCTOR EN GEOGRAFÍA**

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

**GUILLERMO ALFONSO WOOLRICH PIÑA**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. JULIO A. LEMOS ESPINAL**



**MÉXICO D. F. AGOSTO DE 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.

**... Gracias a ti, por haberme regalado la vida, y a la vida, por haberme dado el privilegio de ser tu hijo. Porque extraño verme en tus ojos, siempre estarás presente en mí. Te amo Isabel ...**

**... Con mi más profundo y grande amor a mis hijos por todo el tiempo que les he robado durante estos años ...**

**... Para mi esposa, por todos estos años de apoyo, tolerancia, comprensión y amor. Ya van 10 vida. Te amo ...**

**... A mis hermanas por redescubrir el lazo que nos une. Las quiero mucho ...**

**... Para mi sobrino, al que quiero mucho ...**

## AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, agradezco a mi *alma mater*, a mi Universidad, el permitirme cerrar el círculo.

Al CONACYT por haberme otorgado la beca que me permitió realizar los estudios de doctorado, así como las estancias para complementar mi trabajo de investigación.

Al Dr. Julio Alberto Lemos Espinal por brindarme todo el apoyo para concluir este trabajo, así como por su confianza y amistad en todos estos años.

Al Dr. Raymundo Montoya Ayala por sus aportaciones realizadas principalmente en el manejo de SIG's, por sus sugerencias invaluable para enriquecer este trabajo, así como por su gran paciencia y amistad.

Al Dr. Geoffrey R. Smith por su invaluable apoyo en trabajo de campo, en el análisis de los datos y por su ayuda en la primera versión de este trabajo. También por aceptar formar parte de mi comité sinodal.

A la Dra. Martha Cervantes Ramírez por las aportaciones y recomendaciones realizadas a este trabajo.

Al Dr. Oswaldo Téllez Valdez por el enriquecimiento que con su experiencia aportó a este proyecto.

Al Coordinador del Posgrado en Geografía, Dr. Javier Delgado Campos por apoyarme en los momentos difíciles que se me presentaron en el transcurso del doctorado.

Al Mtro. Víctor Manuel Martínez Luna por haber compartido sus conocimientos sobre hidrología y por aquellas agradables anécdotas en las clases de Hidrogeografía.

A los proyectos PAPIIT IN 221707, PAPCA 2008-2009 y PAPCA 2009-2010 por el apoyo financiero para la realización del presente trabajo, así como de las tesis de licenciatura: "Caracterización de las pozas asociadas al Río Salado, Puebla, México (larvas de anfibios y factores abióticos)" defendida por Mónica Barbosa Morales; "Efecto de la salinidad y densidad poblacional en el desempeño de las larvas del sapo de los pinos *Ollotis occidentalis* (Anura: Bufonidae), provenientes de las pozas asociadas al Río Salado, Puebla" defendida por Edgardo Aquino Caballero y "Efecto de la salinidad y densidad poblacional en larvas de *Hyla xera* que habitan el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México" Defendida por Alfonso Hernández Ríos.

A mi amigo M. en C. Luis Oliver López por todo el esfuerzo compartido durante estos años.

A mis amigos de la FES Iztacala los M. en C. Felipe Correa Sánchez, Tizoc Altamirano Álvarez y Jorge E. González Espinoza, así como al personal del vivario (Bióls: Bety, Raúl, Librado y MVZ Eduardo).

A mi gran amigo Gerardo Cabrera y familia por todos esos alegres momentos. Asimismo y no menos importantes a Rodrigo Godoy, Enrique Morales y todos los cuates que han sido, son y serán importantes para mí.

Al Lic. (Hno.) Andrés Anaya Marín, Director General De la Salle ECC, por brindarme todo el apoyo logístico cuando fue requerido, por su gran amistad y todo el respaldo que he recibido, Muchas Gracias Andrés.

A todos mis compañeros de trabajo De la Salle ECC, especialmente a la Dirección de Preparatoria, a la Coordinación Académica y a las Academias Químico-Biológicas y Físico-Matemáticas, así como a los profesores que suplieron mis ausencias durante el desarrollo de este trabajo.

Quiero agradecer a otra gran institución, "la competencia", al Instituto Politécnico Nacional, especialmente a Ciencias de la Tierra de la ESIA Ticomán, que a través del Ing. René Téllez Flores (Coordinador de la carrera Ing. Geológica), Dr. Miguel García Reyes (Jefe del Dpto. de Posgrado), M. en C. Rodrigo Mondragón Guzmán (Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación), y del Ing. Julio Morales de la Garza (Director de la ESIA Ticomán) me han brindado la confianza y el apoyo para mi desarrollo profesional.

A toda la gente de Zapotitlán Salinas, incluyendo a la familia Serrano-Flores, Domingo Hernández y familia, Don Benigno, al Sr. Fulgencio Salinas Salas, al personal del Jardín Botánico "Helia Bravo Hollis", y al Comisariado por brindarnos su amistad y por todo el apoyo logístico durante el trabajo de campo.

A las personas que han partido, porque las extraño y recuerdo con mucho cariño.

*"Siéntete como un niño pequeño ante los hechos y prepárate a abordar cualquier noción preconcebida, sigue humildemente adondequiera y a cualquier abismo a donde te conduzca la naturaleza o no aprenderás nada" Thomas Henry Huxley*

*"La imaginación es más importante que el conocimiento" Albert Einstein*

*"El misterio del principio de todas las cosas es insoluble para nosotros, y debo contentarme con ser, por mi cuenta, un agnóstico"*  
*Charles Darwin*

*"El comportamiento torpe de los hombres frente a la naturaleza condiciona sus comportamientos torpes entre ellos"*  
*Karl Marx*

*"Todo pensamiento digno de este nombre actualmente debe ser ecológico"*  
*Lewis Mumford*

*"Para generar conocimiento no se debe partir de la base conocida, sino de la ignorada"*  
*Guillermo Woolrich*

## INDICE.

### PARTE I. ASPECTOS GEOGRÁFICOS.

Capítulo I. Introducción General.....	1
1.1. Importancia histórico-cultural .....	2
1.2. Importancia social .....	4
1.3. Importancia geográfica y ecológica.....	5
1.4. Área de estudio.....	6
1.5. Modelos de estudio.....	11
Capítulo 2. Caracterización hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas.....	17
2.1. Resumen .....	17
2.2. Abstract .....	17
2.3. Introducción .....	18
2.4. Antecedentes .....	23
2.5. Objetivo general .....	24
2.6. Objetivos particulares.....	24
2.7. Hipótesis .....	24
2.8. Material y método.....	25
2.9. Resultados .....	28
2.10. Discusión.....	35

### PARTE II. ASPECTOS ECOLÓGICOS Y DE CONSERVACIÓN.

Capítulo 3. Factores que influyen en la distribución de renacuajos a lo largo del Río Salado... 41	41
3.1. Resumen .....	41
3.2. Abstract .....	41
3.3. Introducción .....	42
3.4. Antecedentes .....	44
3.5. Objetivo General .....	45
3.6. Objetivos particulares.....	45
3.7. Hipótesis .....	45
3.8. Material y método.....	46
3.9. Resultados .....	47
3.10. Discusión.....	52
Capítulo 4. Renacuajos: tolerancia a la salinidad .....	55
4.1. Resumen .....	55
4.2. Abstract .....	55
4.3. Introducción .....	56
4.4. Antecedentes .....	58
4.5. Objetivo General .....	59
4.6. Objetivos particulares.....	59
4.7. Hipótesis .....	59
4.8. Material y método.....	60
4.9. Resultados .....	63
4.10. Discusión.....	67

Capítulo 5. Repartición de recursos del ensamble de anuros adultos que habitan el Río Salado.	76
5.1. Resumen .....	76
5.2. Abstract .....	76
5.3. Introducción .....	77
5.4. Antecedentes .....	79
5.5. Objetivo General .....	80
5.6. Objetivos particulares.....	80
5.7. Hipótesis .....	81
5.8. Material y método .....	81
5.9. Resultados .....	82
5.10. Discusión.....	91
Capítulo 6. Factores que influyen la distribución de <i>Poeciliopsis fasciata</i> a lo largo del Río salado (Puebla, México) .....	95
6.1. Abstract .....	95
6.2. Introducción .....	95
6.3. Material y método .....	96
6.4. Resultados .....	96
6.5. Discusión .....	97
6.6. Literatura citada .....	99
Capítulo 7. Discusión General.....	102
7.1. Aspectos geográficos.....	102
7.2. Aspectos ecológicos y de conservación.....	104
REFERENCIAS.....	107
ANEXO I.....	128
ANEXO II. ....	137

PARTE I  
ASPECTOS GEOGRÁFICOS.



## Capítulo 1.

### Introducción General.

---

---

Durante el desarrollo de éste trabajo se pretende explicar desde el punto de vista hídrico, algunos procesos ecológicos de los anuros (ranas y sapos), los cuales pueden servir como indicadores de la calidad del agua. Todo ello sin dejar de lado las interacciones con diversos factores y como eje central, los aspectos geográficos involucrados.

El estudio de las cuencas hidrológicas es de suma importancia debido a que puede tener una serie de aplicaciones tan diversas que van desde la administración de los recursos naturales hasta la evaluación de obras para el bienestar social. La relevancia de este tipo de trabajos radica en un común denominador: el agua. Éste elemento es vital para cualquier proceso biológico, industrial, productivo, etc. Debido a la sobreexplotación del mismo por las actividades humanas se ha desajustado el equilibrio en varios ecosistemas dulceacuícolas, así como el riesgo de desaparición de varias especies que requieren del agua en su ciclo de vida.

En zonas áridas y semiáridas, el recurso hídrico es aún más importante debido a su escasez. Un ejemplo puede ser el Valle de Zapotitlán Salinas que se encuentra enclavado en la Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán, ésta zona es interesante debido a que es una de las áreas semiáridas más sureñas del hemisferio norte. Su importancia radica no sólo en el aspecto geográfico y ecológico, sino también en el cultural, histórico y social. Desde el punto de vista histórico cultural, el agua desempeñó un papel importante en el asentamiento de los diferentes grupos humanos y desde una panorámica social, dentro de las actividades económicas más importantes se encuentran la agricultura, ganadería y producción de sal, las cuales requieren en gran medida el recurso hídrico. Como consecuencia de estas actividades se está fragmentando cada vez más este ambiente, lo cual implica que las actividades económicas antes mencionadas disminuyan y los habitantes del lugar busquen subsistir, emigrando a otros lugares, principalmente a Estados Unidos.

Desgraciadamente, no se cuentan con registros históricos sobre como lo anterior podría o no estar afectando el ecosistema acuático. Lo que si es un hecho es que las poblaciones de anfibios (incluidos aquí ranas y sapos) han estado disminuyendo a nivel global por una diversa serie de causas, y durante los últimos diez años se ha observado que este problema no es ajeno para el valle. Por esta razón, es

importante realizar un estudio sobre la caracterización hidrológica desde una perspectiva de conservación debido a la utilidad que estos organismos pueden brindarle al hombre como indicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos. No obstante lo anterior, es importante recalcar la importancia cultural, histórica y social del Valle de Zapotitlán.

### **1.1. *Importancia histórico-cultural.***

Dentro del Valle, se cuenta con algunos registros relevantes, entre ellos, el del maíz más antiguo, lo cual sugiere que ésta planta surge en esta zona. Dicho evento sugiere que hubo un periodo de agricultura incipiente la cual esta datada entre el 7000 y el 2300 a.C., proceso correlacionado con la primera ocupación humana, que de acuerdo a los registros, se da aproximadamente en el 7000 a.C. Existe una referencia bien documentada dividida en ocho periodos en los cuales se describe la ocupación y actividades desarrolladas en la zona (MacNeish, 1967), que son:

- a) *Periodo Ajuereado.* Comienza en el 7000 a. C. y finaliza hacia el 6500 a. C. Se caracteriza por la ocupación de cavernas probablemente por un número pequeño de personas, las cuales se dedicaban principalmente a la caza y recolección de plantas.
- b) *Periodo El Riego.* Con una duración del 6500 al 5000 a. C. Primeros indicios de cultivo y elaboración de utensilios como cestos y metates para el almacenamiento y procesamiento de granos.
- c) *Periodo Coxcatlan.* Del 5000 al 3500 a. C. Se caracteriza por sitios ocupados durante largos periodos de tiempo. Hay una evidencia sólida de cultivos de varias plantas, entre ellas maíz, frijol y chile.
- d) *Periodo Abejas.* Del 3500 al 1500 a. C. Existe un cambio significativo en el esquema de asentamientos, ya que se observan construcciones rudimentarias a lo largo de las terrazas aluviales del valle. Evidencias fuertes de que la agricultura proporciona gran parte de la dieta. Domesticación del perro.
- e) *Periodo Ajalpan.* Con duración del 1500 al 900 a. C. Se caracteriza por las construcciones hechas de adobe en zonas de la planicie y en las terrazas aluviales.
- f) *Periodo Santa Maria.* Del 900 al 200 a. C. Primera evidencia que sugiere el uso de irrigación. Los asentamientos presentan estructuras ceremoniales.

- g) *Periodo Palo Blanco*. Del 200 a. C., al 700 d. C. Utilización regular de la irrigación. Evidencias de la domesticación de algunas plantas, principalmente el cacahuate y la guayaba, así como algunos animales como el guajolote. Construcción de pirámides, plazas u centros ceremoniales sobre la cima de cerros. Asentamientos más grandes, lo cual sugiere una cantidad de individuos considerable.
- h) *Periodo Venta Salada*. Del 700 al 1540 d. C. El Valle probablemente fue dividido en ciudades-estado o reinos, varios asentamientos siguen con la distribución actual. La economía se basaba en la agricultura de irrigación, producción de sal, comercio, procesamiento de algodón y elaboración de implementos de roca como metates y molcajetes.

A pesar de la evidente aridez del valle, existen cuerpos de agua tanto dulces como salados, las condiciones de salinidad del suelo provocan que el agua del río sea salada. Ésta característica fue bien aprovechada por los pueblos popolocas y mixtecos precolombinos de la zona, así como de algunos otros grupos cuyos registros datan desde hace aproximadamente dos mil años (Castellón, 2000). La explotación de sal en la ribera del río permitió el desarrollo de Cuthá, uno de los principales sitios arqueológicos de la cultura mixteca-popoloca. La producción de sal se lleva a cabo actualmente y es una actividad importante dentro de la región, donde se producen dos tipos de sal (tierna y de arrobas, para consumo humano y ganado, respectivamente) que son vendidos en los estados de Puebla, Veracruz y Oaxaca (Lee, 2006).

El grupo étnico que habita ésta zona es el de los popolocas. En la actualidad, los popolocas habitan en tres zonas aisladas entre sí. La primera, ubicada en el Valle de Tehuacán, comprende los municipios de Tlacotepec de Juárez y Tepanco de López. La segunda, en la prolongación de la Mixteca Oaxaqueña, la cual se conforma por los municipios de San Gabriel Chilac y Zapotitlán Salinas. La última, pertenece geográficamente a la Mixteca Alta, abarcando los municipios de Tepexi de Rodríguez, San Juan Ixcaquixtla, Santa Inés Ahuatempan y San Vicente Coyotepec. El nombre de popolocas proviene del náhuatl y se traduce como "tartamudos" (Código Borgia, 1963). Sometidos por los zapotecos y los mexicas, los popolocas han sufrido la erosión de su territorio, lo cual con el paso del tiempo ha acarreado una severa problemática ambiental y hoy es una región de expulsión de migrantes, especialmente a los Estados Unidos.

## **1.2. *Importancia Social.***

Antes de la década de los sesenta, gran parte de los zapotitecos se dedicaban al pastoreo de cabras así como a la producción de sal para la venta en mercados regionales. Con el pavimento del camino de Zapotitlán Salinas a Tehuacan, y la conexión a la energía eléctrica en los años sesenta, la extracción y la venta de travertino y mármol de canteras locales formaron la actividad económica principal hasta principios de los años noventa. Durante la mayor producción de ésta industria, de mediados de los años setenta a mediados de los ochenta, ésta actividad dominó la vida económica del pueblo (Cook y Binford, 1990). En ésta fase de la industria de ónix, la migración de la comunidad hacia el extranjero fue retrasada cuando otras regiones del sur de Puebla, en particular la región Mixteca, experimentaban altos niveles de migración (Smith, 2001). A mediados de los noventa, la industria del ónix cayó debido a una serie de factores como la reducción de los mercados nacionales e internacionales para la venta de artesanías, cortes al subsidio del pago de energía eléctrica, resultado de la práctica de la política económica neoliberal, pugnas dentro del poblado sobre el derecho de sus canteras, y una pérdida de trabajadores que migraron. Todo lo anterior influyó en el descenso de la industria de ónix local, donde la mayoría de los talleres de Zapotitlán Salinas quebraron y se cerraron. La producción a baja escala de ónix, el pastoreo de cabras, y la producción de sal proveyeron de empleo a un pequeño número de Zapotitecos. Algunos individuos, sobre todo mujeres, encontraron trabajo en las fábricas de ropa de la región. Estas opciones de empleo mal pagadas no proporcionaron el ingreso necesario. Por consiguiente, cientos de Zapotitecos emigraron a Nueva York en busca del trabajo (Lee, 2008).

Ésta problemática socioeconómica se vincula a una problemática ambiental debido a que las pocas actividades que se desarrollan (ganadería, producción de sal y factorías) impactan severamente los recursos naturales, así como la diversidad biológica. La producción de sal incrementa los niveles de salinidad de las pozas asociadas al Río Salado, principal cuerpo de agua del valle, lo cual puede repercutir en la distribución e historias de vida de los organismos acuáticos, específicamente en los anfibios.

### 1.3. *Importancia geográfica y ecológica.*

Debido a su fisiografía, las cadenas montañosas del Valle de Zapotitlán Salinas forman una serie de barreras que impiden el paso de humedad. Esto trae como consecuencia un clima semiárido así como una gran diversidad y alto porcentaje de endemismos tanto de flora y fauna. Ésta zona contribuye en gran medida a la riqueza de especies que se distribuyen dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán, razón por la cual es importante conocer los factores involucrados en el deterioro ambiental del lugar para formular propuestas de conservación (Arizmendi *et al.*, 2007).

Dentro de las actividades económicas realizadas dentro del valle, la producción de sal podría estar alterando los niveles de salinidad del cauce del Río Salado. Tal vez este proceso puede afectar a los anfibios, principalmente en las primeras etapas de su vida, en la fase de renacuajo que es cuando dependen totalmente de los cuerpos de agua (McDiarmid y Altig, 1999). Existe una serie de evidencias bien documentadas sobre la disminución en las poblaciones de anfibios a nivel global debido a cambios en las condiciones ambientales (Hillman *et al.*, 2009). Una proporción alta de este grupo de animales se encuentran bajo algún estatus (amenazada, en peligro, o especie extinguida), y es de los grupos más afectados durante los últimos 25 años. Su índice de desaparición es 200 veces más alto que la tasa histórica de extinción, de acuerdo con el registro fósil (McCallum, 2007). La mayor evidencia del decremento de las poblaciones se atribuye a la sobreexplotación de los recursos naturales, pérdida de hábitat, cambios ambientales (lluvia ácida, radiación ultravioleta, contaminantes químicos y cambio climático) (Stuart *et al.*, 2004).

No obstante, no se cuentan con registros de un impacto sobre la diversidad biológica debido a las actividades realizadas durante el proceso histórico mencionado al inicio del capítulo. No se sabe con certeza si los aspectos antes mencionados influyen de manera directa en la disminución del número de anfibios ó si éstos pudieran presentar alguna respuesta fisiológica ante dicho cambio. Lo que es un hecho, es que durante los últimos 10 años se ha observado un decremento significativo en el número de individuos (observación personal). Por esta razón, mediante una caracterización hidrológica, el presente trabajo busca el factor o factores que podrían estar involucrados en la distribución de los anfibios a lo largo del Río Salado y si éste factor-factores podrían estar repercutiendo en una disminución de los individuos.

Llevar a cabo este proyecto en una zona con una riqueza cultural e histórica importante es de vital importancia para comprender como la sobreexplotación de los recursos puede tener repercusiones ambientales y sociales. Uno de los potenciales paliativos pudiera ser la economía de subsistencia parecida a la que llevaban a cabo los antiguos pobladores. Sin embargo, en estos tiempos de globalización, ésta propuesta parece lejana a pesar de todos los esfuerzos de conservación.

#### 1.4. *Área de estudio.*

El Valle de Zapotitlán Salinas, se localiza al sur del estado de Puebla, forma parte de la reserva de la biosfera Tehuacan-Cuicatlán, su área queda comprendida entre los 18° 10' y los 18° 27' 30'' de Latitud Norte y entre los 97° 22' 30'' y los 97° 40' de Longitud Oeste, es la subcuenca alta-media del Río Salado y comprende una superficie aproximada de 407 km<sup>2</sup> (40 727 ha), con una diferencia altitudinal que va de los 1440 a los 2600 m snm (Montoya-Ayala, 2000) (Fig. 1.1).

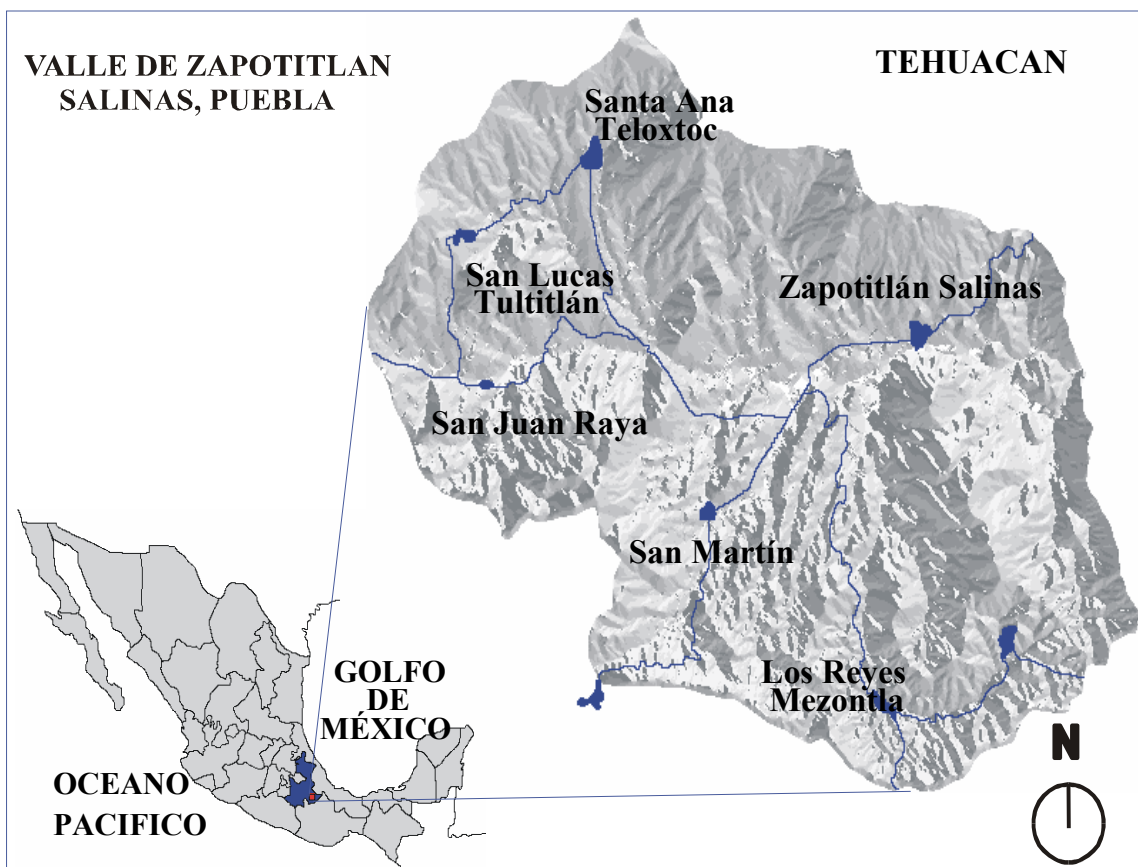


Figura 1. 1. Zona de estudio.

### *Geología.*

El área de estudio presenta un claro dominio de rocas metamórficas. Entre las rocas más frecuentes cabe destacar la extensa representación de los esquistos calcáreos, gneis micáceos y talcos, siendo de particular importancia los afloramientos asociados de rocas sedimentarias, destacando los de tipos calizas, lutitas, areniscas, conglomerados y coquinas (Byers, 1967). En menor proporción también se encuentran rocas ígneas intrusivas como los granitos e ígneas extrusivas como los basaltos. Los suelos que se presentan son principalmente de tipo litosoles, rendzinas, regosoles calcáricos y eútricos, así como vertisoles pélicos (Brunet, 1967).

### *Geomorfología.*

El relieve del Valle de Zapotitlán de las Salinas es el resultado del progresivo desmantelamiento por el Río Salado y sus afluentes sobre una serie de planicies localizadas entre los cerros y lomerios aislados, así como entre las sierras localizadas en el área de estudio (Osorio *et al.*, 1996).

El resultado de esta geomorfología es el predominio morfológico de las grandes unidades en llanos con pendiente moderada y zonas con pendiente, que muestran notables diferencias en cuanto a su complejidad interna. Existen así, desde valles, laderas planas de formas homogéneas con escarpes de falla hasta vertientes irregulares asociadas a morfologías en escalón que presentan una importante variedad interna de formas (Villaseñor *et al.*, 1990).

Se presenta una gran meseta en la comarca en el extremo occidental de la zona de estudio, en la cuenca alta del Valle de Zapotitlán Salinas. En los fondos del valle se organizan formas recientes de acumulación de materiales detríticos, entre las que predominan las áreas planas o de pendiente suave asociadas a cursos fluviales (aluviales y aluvial-coluviales), que en los principales cauces como el Río Salado se organizan en terrazas (Montoya-Ayala 2000).

Las unidades geomorfológicas reconocidas son: Acantilados (pendientes mayores de 30 %), Cuestas (de 25 a 30 %), Declives (20 a 30 %), Mesetas, Sierras, Barrancas y Lomerios (15 a 20 %), Tierras malas (6 al 15 %) y Terrazas de aluvión (0 a 5 %).

### *Orografía.*

La subcuenca esta limitada al Oeste por los cerros Yerba, Ometepec, Campanario, La Mesa, Xentile y Yolotepec, así como el Paso Agua de Burro; al Norte por los cerros La Tarántula, Pajarito, Mar Rubio, Chacatecas, La Colmena y Volcancillo; al Noreste por la Sierra de Miahuatepec; al este por la Sierra de Atzingo; al Sur por la mesa Buenavista y el cerro Yistepec; por último al Suroeste por la Sierra de Santiago. Fisiográficamente, pertenece a la división de la Sierra Madre del Sur, a la Provincia de las Sierras Centrales de Oaxaca y al Sistema Ecogeográfico Zapotitlán (Montoya-Ayala, 2000).

### *Hidrología.*

La cuenca del Río Salado en el Valle de Zapotitlán Salinas tiene una extensión aproximada de 40 710 has. Se encuentra formada por las subcuencas: a) Zapotitlán Salinas, con una extensión aproximada de 28,350 ha; b) San Juan Raya-Santa Ana, con una extensión aproximada de 13,360 ha (Montoya-Ayala, 2000). El Río Salado es una corriente de agua que corre por la Mixteca Baja Poblana, en el sureste del estado de Puebla. Sus aguas estan formadas principalmente por el Río Zapotitlán, el Río Manantiales, el Río Salinas la Barranca, Salinas San Pedro y Río las Ventas, las cuales son alcalinas-salinas o también consideradas como aguas agresivas (con altas cantidades de carbonatos). El Río Salado nace en las estribaciones de la Sierra de Zapotitlán Salinas, a una altitud aproximada de 1700 m snm; baja de la sierra hasta el Valle de Zapotitlán Salinas, de donde pasa al Valle de Tehuacán, para unirse con el río Tehuacán. Estos ríos forman parte de la cuenca hidrológica del río Papaloapan, uno de los más caudalosos de México, que desagua en la costa veracruzana del Golfo (Fig. 1.2).





A



B



C



D

Figura 1.2. Vista panorámica del Río Salado.

### *Climatología.*

Las condiciones climáticas que imperan en el área de estudio, no están caracterizadas por la humedad ni por temperaturas templadas. Se presenta una estación meteorológica Estación Zapotitlán Salinas, en la cual se tiene registrada como temperatura promedio anual 21.2 °C con poca oscilación térmica, entre 5 y 7 °C; una precipitación media anual de 450 mm y el clima dominante corresponde al tipo BS hw'' (i') g, semiseco-semicálido, con lluvias en verano (García, 1988).

### *Vegetación.*

Las características climáticas y de precipitación determinan una vegetación compuesta principalmente por matorral cracicaule donde las especies más comunes son: *Cephalocereus columna trajani*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Agave karwinkii*, *Agave marmorata*, *Beucarnea gracilis*, matorral espinoso de *Prosopis laevigata*, *Mimosa luisana*, *Cercidium praecox*, *Caesalpinia melanadnia*, *Stenocereus pruinosus*, *Acacia coulteri*, seguida en abundancia por matorral subinermes de *Prosopis laevigata* y *Neobuxbaumia ssp.* (Arias-Toledo *et al.*, 2001; Rzedowski, 2006; Valiente-Banuet *et al.*, 2000) (Fig. 1.3 A-D).



A



B



C



D



E



F

Figura 1.3. Panorama de diferentes localidades del Valle de Zapotitlán Salinas.

### 1.5. Modelos de estudio.

En el Valle de Zapotitlán Salinas se distribuyen siete especies de anfibios, de las cuales, sólo se utilizaron de modelo cuatro debido a que éstas últimas presentan un desarrollo larvario dependiente totalmente de los cuerpos de agua. Las especies son:



*Lithobates spectabilis*

Esta rana presenta una talla corporal promedio de 50 mm (Longitud Hocico-Cloaca). Son evidentes unos pliegues dorsolaterales amplios y aplanados cuya coloración es bronceada-verdusca. Se pueden observar 18 puntos pequeños ovoides en la región dorsal con una tonalidad bronceada. Tanto la coloración dorsal como la lateral es verde metálico brillante. La porción posterior del vientre y la superficie inferior de los miembros traseros son amarillas, la región gular presenta numerosas marcas oscuras. Se distribuye desde el este de Michoacán pasando por el estado de México, Morelos, Puebla, Tlaxcala hasta llegar a una pequeña porción de Veracruz y Oaxaca. Habita una gran variedad de hábitats desde zonas de pino-encino hasta lugares xéricos, a un gradiente de altitud de va desde los 1200 a los 3200 msnm. Los pocos estudios realizados sobre esta especie se remiten al estado taxonómico y filogenético así como aspectos reproductivos y del desarrollo larvario (Hillis y Frost, 1985; Zaldívar-Riveron *et al.*, 2004; Oliver-López y Ramirez-Bautista, 2002). En esta especie el renacuajo presenta papilas labiales gruesas y una separación amplia en la parte superior, que puede presentar una tendencia a la marginación; el cuerpo es globoso y alargado de color verde, con motas pequeñas de color claro que cubren uniformemente la cola y las aletas, a veces agrupadas en barras anchas; los ojos son dorsales, el espiráculo es dorsoventral siniestro, pegado a la piel por lo que el tubo se proyecta y está ligeramente hacia el exterior; el intestino en espiral es muy evidente y tiene una tonalidad pardusca; la aleta dorsal surge desde la primera marca muscular (Fig. 1.4).



Figura 1.4. Larva y adulto de *Lithobates spectabilis*.

*Ollotis (=Bufo) occidentalis*

Conocido como sapo de los pinos o simplemente sapo son organismos de talla mediana (Longitud Hocico-Cloaca 50 a 90 mm en individuos adultos). Las glándulas paratoides son medianas y ovaladas, situadas inmediatamente por detrás del borde posterior del párpado; la membrana timpánica es redonda y evidente en individuos de talla grande. En el dorso presentan dos tipos de granulaciones casi cónicas. Su coloración dorsal es gris olivo claro en el fondo y sobre esta coloración se observan dos bandas paravertebrales de color café oscuro que se unen a la altura del segundo tercio del dorso y delimitan una línea media vertebral irregular que se inicia en la punta del hocico. En las extremidades se observa manchas de color café oscuro mientras que la parte ventral de los muslos es de color crema (Santos-Barrera, 1995). Se distribuye desde el norte del país (Sonora y Chihuahua) atravesando el Altiplano Mexicano y la costa del Pacífico (con excepción de Chiapas). Algunas de las poblaciones de *O. occidentalis* habitan preferentemente áreas de matorral xerófilo y algunas zonas de pino-encino (Santos Barrera, 1995). En el Valle de Zapotitlán Salinas se reproduce durante la estación de lluvias (de Junio a Agosto) en arroyos pequeños o en pozas someras en las riberas de los ríos (Oliver-López, 2000). Se han registrado puestas de hasta 10 mil huevos (Oliver-López *et al.*, 2000). Se sabe poco sobre la ecología e historia natural de esta especie, el escaso conocimiento que se tiene de ella se basa en los reportes de reproducción (Smith y Taylor, 1948; Santos-Barrera, 1995; Oliver-López, 2000; Oliver-López *et al.*, 2000; Woolrich-Piña *et al.*, 2005). El renacuajo de esta especie presenta un cuerpo deprimido con forma ovoide. Su coloración varía de un color uniformemente oscuro (principalmente en estadios menores a 28) hasta tonalidades y matices dorados sobre fondos verdosos (principalmente en estadios mayores a 26); los ojos son dorsales, el espiráculo está pegado a la piel y es ligeramente tubular; la cloaca es media; la musculatura caudal presenta motas y puntos ligeramente oscuros; y en la aleta dorsal se observan tenues venaciones (Fig. 1.5, 1.8).



Figura 1.5. Larva y adulto de *Ollotis occidentalis*.

*Exerodonta (= Hyla) xera*

Conocida como rana verde, es una especie endémica del Valle de Tehuacán, presenta un tímpano conspicuo, un pliegue supratimpánico grueso y de color oscuro. Su hocico es agudamente redondeado en vista dorsal aunque es abruptamente redondeado en vista lateral y en algunas ocasiones con una quilla dorsal débil. Tiene pliegues dérmicos presentes en las “muñecas y tobillo”, un tubérculo tarsal débilmente desarrollado y carece de un tubérculo palmar. Su coloración es verde uniforme en las superficies dorsales, la cual esta remarcada por unas barras café oscuro en las cantales y supratimpánicas. Las regiones loreal, timpánica y los labios superiores son de color bronceado con puntos café oscuro irregulares y pequeños, los costados son amarillentos con algunos puntos oscuros pequeños, el vientre es amarillo cremoso y el pliegue gular es amarillo opaco; el iris del ojo es amarillo pálido con reticulaciones negras (Mendelson y Campbell, 1994; Duellman, 2001). Se reproduce durante los meses de Julio y Agosto, encontrando a los adultos debajo de las rocas junto a las corrientes temporales. Es una especie poco conocida por lo que los conocimientos al respecto son escasos aunque cabe destacar un estudio donde trata aspectos relacionados con su ecología reproductiva (Oliver-López y Ramírez-Bautista, 2002). Las papilas labiales son completas y están en disposición romboidal, sin marginaciones; el cuerpo es un poco deprimido, su coloración es verde con tonalidades y reflejos áureos, con cromatóforos oscuros que cubren el dorso; los ojos son dorsales, el espiráculo es siniestro abriendo cerca de la mitad del cuerpo; el intestino en espiral es muy evidente por la piel traslúcida; en la cola los puntos forman contornos que resaltan los músculos; también la aleta dorsal presenta puntos oscuros arreglados en reticulaciones gruesas (Fig. 1.6, 1.9).



Figura 1.6. Larva y adulto de *Hyla xera*.

*Hyla arenicolor*

La ranita de cañón, es una rana de talla mediana (31 a 56 mm de longitud total); su piel es tuberculada, con una membrana interdigital vestigial en las manos, la de los pies generalmente no se extiende más allá de la punta del quinto dedo. Los dedos son largos con discos grandes en la punta; la piel del dorso presenta una textura rugosa; presenta un tímpano pequeño de casi dos veces del diámetro del ojo (Duellman, 2001) y un pliegue prominente en los tarsos (Conant y Collins, 1991; Wright y Wright, 1949). La coloración que presenta en el dorso es gris opaco, verde olivo o café, marcado con puntos o manchas oscuras e irregulares de color café grisáceo opaco o café oscuro y puntos grises. La superficie posterior de los muslos es de color amarillento, anaranjado o pardo con numerosos puntos blancos en la región anal; el vientre generalmente es blanquecino y el saco gular puede tener un tono ligeramente café (Conant y Collins, 1991; Duellman, 2001). Se distribuye a lo largo del Altiplano mexicano, habitando en una variedad amplia de formaciones vegetales, se puede hallar en arbustos de mezquite y matorrales; bosques de pino-encino y bosques espinosos densos. A lo largo de su distribución siempre se asocia con arroyos pequeños de sustrato rocoso. Se reproduce entre los meses de Mayo y Julio aunque ésta puede retardarse hasta que llueva continuamente (Stebbins, 1985; Conant y Collins, 1991). La larva presenta papilas labiales incompletas con una ancha separación en la parte superior. Presenta cromatóforos alrededor de los poros nasales y en la musculatura facial; en estadios avanzados, se presentan seriaciones en la cauda; el cuerpo es poco deprimido, globular y alargado, de color dorado-verdoso; los ojos son dorsolaterales; el espiráculo es lateroventral y siniestro; la boca del tubo llega a la línea medio lateral; hay cromatóforos caudales esparcidos por la musculatura caudal predominando en la mitad dorsal; la cloaca es mediodextral con un pliegue doblado a la derecha (Fig. 1.7).



Figura 1.7. Larva y adulto de *Hyla arenicolor*.





Figura 1.8. Amplexo y puesta de *Ollotis occidentalis*. Foto de Julio A. Lemos Espinal



Figura 1.9. Amplexo y puesta de *Hyla xera*. Foto de Alfonso Hernández Ríos.



## Capítulo 2.

### Caracterización hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas.

---

---

#### *2.1. Abstract*

The hydrological characterization of the Valle de Zapotitlán Salinas was realized. The hidrology is defined by high and low basins of the valley, with the high basin from 1800 and 2500 m, whereas the low basin was from 1450 to 1800 m elevation. There was a total of 17 subbasins that add up to a total area of almost 400 Km<sup>2</sup>. Three subbasins were the most extensive with regard to area, and form a part of the high basin of the Río Salado. The majority of these present an average substrate texture. The altitude ranged among 1450 and 2500 m. Likewise, there the calculated intensity of aridity and rate of evapotranspiration, corroborated the semiarid status of the valley. Along the river there are pools associated with the river. The physicochemical characteristics considered for every section river were: depth, area, oxygen dissolved, salinity and temperature, which changed among sections of river. Such factors may help determine the distribution of the amphibians in the Valle de Zapotitlán Salinas.

#### *2.2. Resumen*

Se realizó la caracterización hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas. Se determinaron dos áreas de parteaguas en la cuenca alta y baja del valle que definieron la hidrología; en la parte alta con altitudes entre los 1800 y 2500 m snm, mientras que la parte baja fue entre los 1450 y 1800 m snm. Fueron determinadas un total de 17 subcuencas que suman un área total de casi 400 Km<sup>2</sup>. Tres subcuencas fueron las más extensas con respecto a su área, que a su vez forman parte de la cuenca alta del Río Salado. La mayoría de éstas presentan una textura media. La altitud osciló entre los 1450 y los 2500 m snm. Asimismo, se calculó la intensidad de aridez y tasa de evapotranspiración, las cuales corroboraron el estatus semiárido del valle. A lo largo del río se presentan pozas asociadas a éste. Las características fisicoquímicas consideradas para cada poza fueron: profundidad, área, oxígeno disuelto, salinidad y temperatura, las cuales variaron entre las pozas. Todos estos factores en su conjunto pueden estar determinando la distribución de los anfibios en el lugar.

### 2.3. Introducción

Las dos principales vías para estudiar la hidrología de alguna zona son desde la ingeniería y la geografía, en ésta última particularmente visualizado desde las ciencias de la Tierra. En éste último enfoque se considera la forma de la superficie terrestre (geomorfología) para explicar los procesos que guían el movimiento del agua.

La unidad espacial más común en los estudios hidrológicos es la cuenca de captación de agua o cuenca de río. Ésta se puede definir como la forma de la superficie por la cual el agua proveniente de la precipitación fluye hacia un río y del río al mar. Una cuenca puede ser definida en términos de su topografía, asumiendo que toda el agua que cae a través de la precipitación, fluye pendiente abajo (Davie, 2008). Sin embargo, no se puede asumir que toda el agua que fluye colina abajo se dirige a algún río, especialmente si la geología de la zona es accidentada, de tal manera que el agua se infiltre y fluya de manera subterránea.

Otros aspectos relevantes en el estudio de la hidrología son la evaporación, precipitación y corriente del flujo de agua. Dichos aspectos pueden cambiar en los procesos hidrológicos de diferentes climas. Por ejemplo, en zonas templadas, alrededor de un tercio del agua se evapora, otro tercio forma parte de la corriente del cuerpo de agua y el último tercio se va a la recarga de agua subterránea. En regiones áridas y semiáridas la proporción de evaporación es mucho mayor (Davie, 2008; UNESCO, 2006; Fig. 2.1).

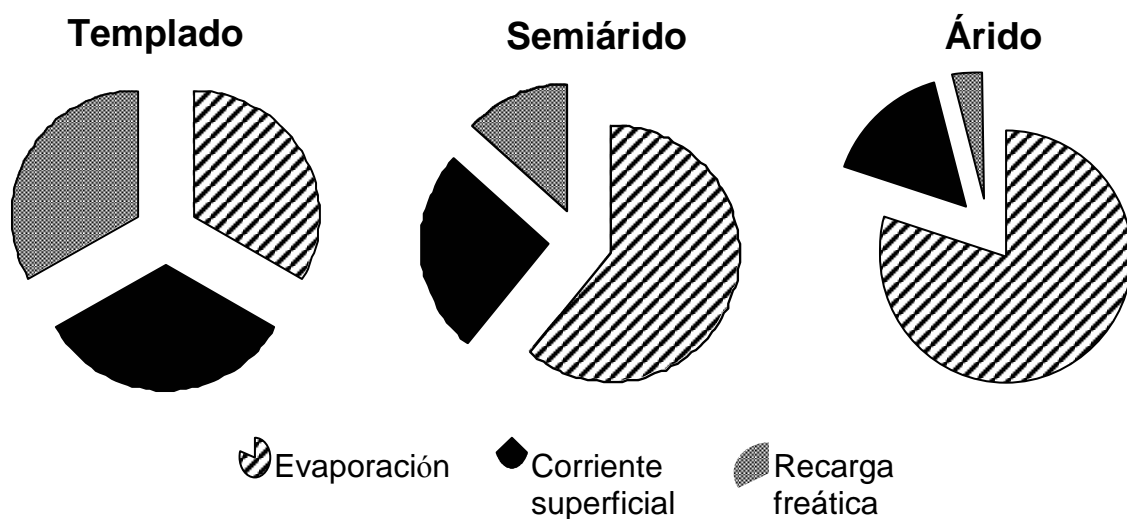


Figura 2.1. Proporción de la precipitación total que se evapora, forma parte de la corriente superficial y recarga los mantos freáticos (agua subterránea) en tres diferentes zonas.

*Clasificación de los cuerpos de agua.*

Los cuerpos de agua pueden clasificarse utilizando criterios diferentes. Aguilo-Alonso y colaboradores proponen tres sistemas de clasificación. Estos son por: a) forma, b) cuencas hidrológicas y c) cantidad de agua.

*Clasificación de las formas de agua.*

En los primeros estudios hidrológicos el objetivo principal era buscar solamente las diferentes formas que tiene el elemento agua en la superficie terrestre. Inicialmente se estudiaron los grandes tipos (lagunas, ríos y arroyos) que eran muy fáciles de localizar para que posteriormente se fueran introduciendo otras formas más complejas (manantiales, acuíferos, humedales, etc.). Actualmente, gran cantidad de estudios de ordenamiento y clasificación presentan inventarios de este tipo. Las formas de inventariar y su definición se puede observar en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

<b>Formas del cuerpo de agua</b>	<b>Descripción</b>
Acuífero	Cualquier formación geológica subterránea que contiene y transmite agua en cantidades grandes.
Agua subterránea	Agua dentro de la tierra que abastece manantiales, pozos y cursos de agua. Ésta agua se encuentra en zonas de saturación donde llena las cavidades del suelo y de las rocas.
Arroyo	Corriente natural de agua con caudal discontinuo que está en función de las temporadas (lluvias y secas). Su anchura promedio es menor a cinco metros.
Canal	Curso artificial de agua.
Cascada	Despeñadero natural de agua.
Embalse	Bolsa artificial donde se recogen las aguas de uno o varios cursos de ésta.
Estuario	Tramo final de un río donde las aguas del mar se ven apreciablemente diluidas por las aguas del río.
Glaciar	Aguas de ríos o lagos congelados formando macizos grandes.
Lago	Masa permanente de agua depositada naturalmente en hondonadas del terreno. Es un cuerpo de agua dulce o salada, más o menos extensa, que se encuentra alejada del mar, y asociada generalmente a un origen glaciar. El aporte de agua a los lagos viene de los ríos y del afloramiento de aguas freáticas.
Laguna	Depósito natural de agua de menores dimensiones que el lago, generalmente localizadas a nivel del mar o en zonas bajas.

Manantial	Zona donde las aguas afloran a la superficie.
Río	Corriente natural de agua con caudal continuo a lo largo de todas las estaciones.

### *Clasificación de las cuencas hidrológicas*

Una cuenca hidrológica puede definirse como el área circundante que aporta agua y sedimentos a un cauce en una sección dada, o como un conjunto de formas topográficas (sistema geomorfológico), asociadas a una red de drenaje o sistema de flujo (Aguilo-Alonso *et al.*, 1992). Se le considera como la unidad superficial donde la precipitación es redistribuida en cada uno de los componentes del ciclo hidrológico, poseyendo propiedades físicas, químicas y biológicas que dan un único conjunto de propiedades hidrológicas (Wenger, 1984).

Las laderas que conforman las cuencas hidrológicas se dividen en colectoras y esparcidoras de agua, que a su vez se subdividen en laderas de reptación (con forma convexa) y laderas de lavado pluvial (de forma cóncava, Fig. 2.2). Las laderas de reptación se caracterizan por el arrastre de suelo y/o rocas, generalmente en la parte superior de cerros debido a que es un proceso gravitacional. Las laderas de lavado se refieren al transporte de agua por la pendiente donde se unan dos o más cauces y que por su volumen, éste lavado domina sobre la reptación porque el agua fluye sobre la superficie en vez de penetrar en el suelo (Troeh, 1965; Bloom, 1974).

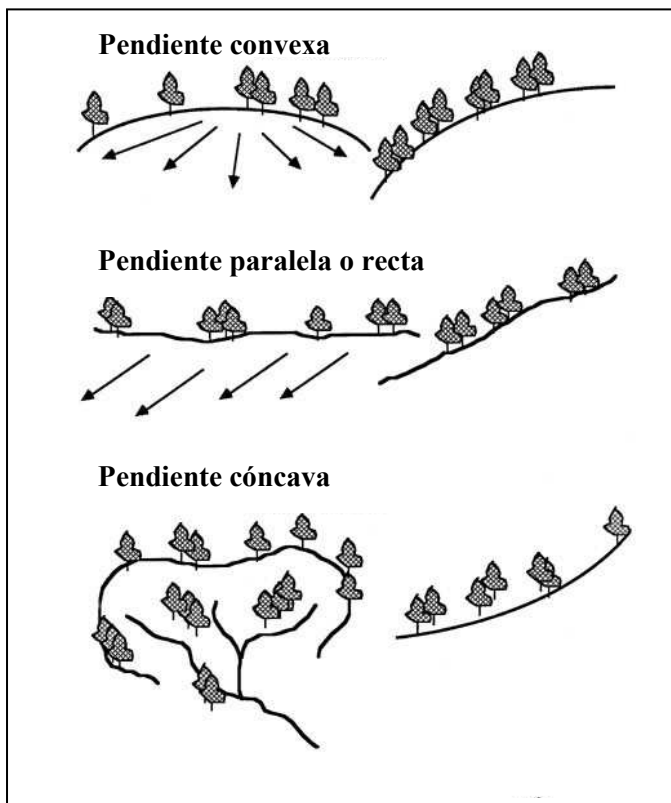


Figura 2.2. Tipos de pendientes de una cuenca hidrológica.

Con respecto a los ríos, éstos pueden mostrar una complejidad espacio-temporal, la cual se pueden diferenciar por tres aspectos:

- 1) Existe un espectro del tipo de ríos que depende de su hidrología, recarga de sedimentos e historia geológica, es decir, los ríos difieren entre sí.
- 2) Los ríos cambian naturalmente a través del tiempo como un resultado del clima y cambio hidrológico
- 3) Puede haber una variabilidad considerable en la morfología del canal a lo largo del curso de un río como un resultado de controles geomorfológicos y geológicos.

#### *Ambiente Fluvial.*

El agua corriente domina el ambiente fluvial, alcanzando amplias extensiones geográficas. El inicio de este flujo se da en las pendientes de cadenas montañosas y durante su trayecto puede desplazarse ya sea como cascada o como canal de río o arroyo. Ésta corriente de agua es un componente principal del balance hídrico de la superficie en la que se encuentra puesto que permite establecer la diferencia entre las tasas de precipitación y evaporación, la cuál puede presentar cambios estacionales generando patrones de flujo que pueden ser menores a 5 cm en zonas desérticas donde se observan arroyos efímeros que fluyen después de tormentas ocasionales pero son secos el resto del tiempo, o superiores a 100 cm en regiones boscosas que presentan la mayor descarga de los ríos (Huggett, 2007).

#### *Canales y redes de escurrimiento.*

El sistema de un río puede ser considerado como una red de nodos que están unidos por segmentos de arroyos o riachuelos que forman la unidad básica de ésta red, los cuales son usados para ordenar la relación entre éstos segmentos permitiendo clasificar el canal de escurrimiento o flujo de acuerdo a su tamaño. Dicho orden es una propiedad básica de las redes de flujo debido a su relación con la descarga relativa de agua de un segmento en particular. De los sistemas para clasificar el canal de escurrimiento, los más usados son los propuestos por Strahler (1952) y Shreve (1975). En el sistema de Strahler el segmento de un arroyo sin ningún tributario que fluye desde el origen del mismo se denomina como segmento de primer orden. El segmento de segundo orden se forma cuando se unen dos segmentos de primer orden. Un segmento de tercer orden es formado por la unión de dos segmentos de segundo orden y así sucesivamente. No se considera un incremento en el orden cuando un segmento de un orden particular se une a otro de un orden menor (Fig. 2.3)

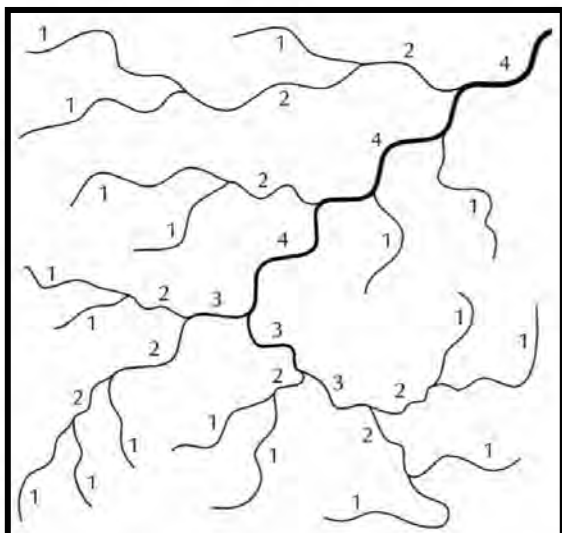


Figura 2.3. Orden de escurrimiento según Strahler.

Por otra parte, el sistema de Shreve define la magnitud del segmento de un canal de flujo como el número total de tributarios que lo alimentan (Fig. 2.4). La magnitud de la corriente de agua se encuentra estrechamente relacionada con la proporción del área total de la cuenca que contribuye con la corriente de flujo y esto provee una buena estimación de la descarga relativa de la corriente en sistemas de ríos pequeños (Shreve, 1975).

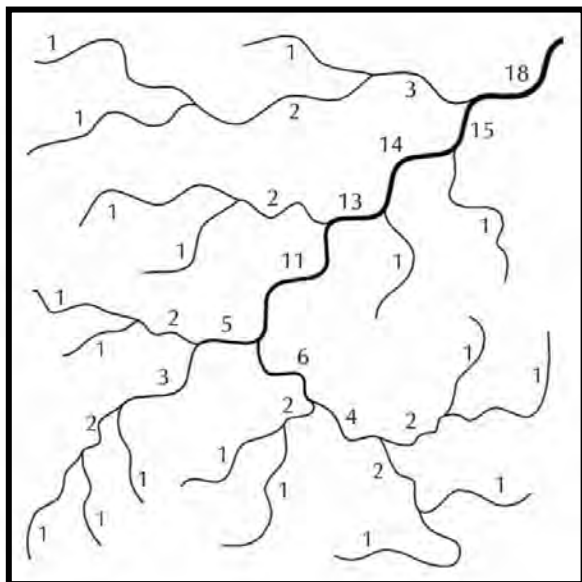


Figura 2.4. Orden de escurrimiento según Shreve.

#### 2.4. Antecedentes

Dentro de los principales trabajos realizados sobre cuencas, algunos se han enfocado sobre las causas de la degradación de los ríos, entre las que destacan aquellas de origen geológico (subsidiencias, fallas, etc; Burnett y Schumm, 1983; Mayer, 1985; Ouchi, 1985; Reid, 1992; Keller y Pinter, 1996); geomorfológico (captación de agua, obstaculización de meandros, cambios en el canal lateral, almacén de sedimentos y movimientos de masa de agua, principalmente; Galay, 1983; Meade *et al.*, 1990; Love, 1992; Ohmori, 1992; Winkley, 1994; Vandaele *et al.*, 1996); climatológico (sequías e incremento en la intensidad de la precipitación; Balling y Wells, 1990; Hall, 1990; Bull, 1991), hidrológico (incremento en la descarga y un descenso en la recarga de sedimentos, entre otros; James, 1991; Macklin *et al.*, 1992; Burkard y Kostachuk, 1995) pecuario (forrajeo; Alford, 1982; Graf, 1983; Prosser y Slade, 1994) y antropológico (construcción de diques y presas, urbanización, dragado y deforestación entre otros muchos más; Williams y Wollman, 1984; Booth, 1991; Gellis, 1996; Schumm, 2005).

Otros estudios realizados en cuencas hidrológicas se han basado en calcular el balance hídrico (Maderey, 1972) y la relación entre precipitación y escurrimiento (Baker *et al.*, 1994). Durante los últimos años, se ha venido utilizando una serie de sistemas de información geográfica para realizar este tipo de estudios, así como los relacionados al impacto ambiental realizado en algunas cuencas (Montoya-Ayala *et al.*, 2004).

En zonas áridas es de suma importancia realizar trabajos sobre la caracterización hidrológica debido a su alta variación diaria, estacional y temporal en la disponibilidad de agua. A pesar de ello, son pocas las investigaciones realizadas sobre ésta temática. Las investigaciones que destacan son aquellas que explican los procesos e interacciones en el sistema suelo-vegetación-clima, la hidrogeomorfología de zonas áridas y semiáridas, los controles ecohidrológicos en el ciclo de nutrientes del suelo, así como las perturbaciones en ecosistemas áridos y semiáridos (D'Odorico y Poporato, 2006). En nuestro país, se ha publicado una cantidad mínima de estos trabajos y para el caso del Valle de Zapotitlán se presentan básicamente cuatro trabajos bien documentados al respecto: el realizado por Fuentes y colaboradores (1971) quienes correlacionaron los factores físicos con los biológicos para dar propuestas de manejo de los recursos naturales en la zona de San Juan Raya; el conducido por García (1991) quién basándose en el modelo de Strahler, comparó cuatro subcuencas del valle y por último el llevado a cabo por Neri-Gómez (2000) quién caracterizó la cuenca baja del Río Salado desde el punto de vista físico. Posteriormente, López-Galindo y

colaboradores (2003), evaluaron el efecto de los parámetros geomorfológicos, materiales parentales, suelos y atributos climáticos en el establecimiento de las comunidades vegetales y en la degradación del suelo en una toposecuencia.

En México, se tienen regionalizadas 39 cuencas hidrológicas, de las cuales pueden destacar la cuenca del Balsas, Lerma-Santiago, Papaloapan, Panuco y Grijalva-Usumacinta, entre otras. Asimismo, se tienen delimitadas desde una perspectiva administrativa 13 regiones hidrológicas (CNA, 2007; anexo 1). No obstante, los trabajos sobre la caracterización hidrológica de cuencas, subcuencas, meso y microcuencas son escasos, y más aún aquellos que integren aspectos ecológicos y de conservación. Es de suma importancia el uso de la caracterización de las cuencas hidrológicas aplicado a problemáticas ambientales y en las propuestas de conservación de especies amenazadas o en peligro. Por esta razón, en el presente capítulo se propone un esquema de la caracterización hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas considerando los siguientes objetivos:

### ***2.5. Objetivo General***

Caracterizar la hidrología del Valle de Zapotitlán Salinas.

### ***2.6. Objetivos particulares***

- Definir las subcuencas que conforman la cuenca del Valle de Zapotitlán Salinas.
- Determinar el climograma del área de estudio.
- Determinar la intensidad de aridez para el valle.
- Calcular la tasa potencial de evapotranspiración del valle.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos del Río Salado.

### ***2.7. Hipótesis***

Ho: El Valle de Zapotitlán Salinas presenta una geomorfología variada, la cual va a repercutir de manera directa en la estructura de los canales de escurrimiento dando lugar a varias subcuencas que abastecen el Río Salado. Asimismo, la fisiografía accidentada influirá en la conformación de mesoclimas que determinaran el clima semiárido del valle, lo cual estará involucrado en un bajo índice de precipitación y una alta tasa de evaporación.



## 2.8. Material y método

### *Subcuencas*

Se definieron áreas de acuerdo al tipo de vegetación, uso de suelo y relieve, dentro de la región estudiada, mediante la utilización de cartas topográficas y un modelo digital de elevación (escala 1: 50,000), así como la carta de vegetación escala 1: 250,000 actualizadas por el Laboratorio de Edafología de la FES-Iztacala. Por otro lado, el tipo de vegetación fue definido de acuerdo al criterio propuesto por Valiente-Banuet y colaboradores (2000).

La región del Valle de Zapotitlán Salinas fue visitada de octubre de 2007 a septiembre de 2009. En cada una de las visitas se realizaron muestreos en la totalidad de las áreas determinadas antes mencionadas. Para comprobar los datos cartográficos, se registraron en campo algunas características geográficas: planicies, cárcavas, laderas, pendientes y orientación de las pendientes, principalmente. Posteriormente todos los datos generados en campo se capturaron en el programa ArcView GIS versión 9.1 para realizar los análisis espaciales correspondientes así como la delimitación de las mesocuenas dentro del Valle de Zapotitlán. Asimismo, los cuerpos de agua fueron categorizados como ríos de primer, segundo y tercer orden.

La densidad de drenaje se obtuvo mediante el índice propuesto por Horton (1945), donde representa la longitud de corrientes por unidad de área. De tal manera se tiene:

$$Dd = L/A$$

en la cuál:  $Dd$  = densidad de drenaje por  $Km^2$

$L$  = longitud total de corrientes en la subcuenca dada en km

$A$  = área total de la subcuenca en  $km^2$

Asimismo, se utilizó el criterio de Way (1978) para determinar la textura de las subcuencas. Dicho criterio divide las cuencas en tipos de textura fina, media y gruesa. Las subcuencas de textura fina son aquellas donde el espaciamiento promedio entre tributarios y corrientes de primer orden es menor a 0.24 cm, la escorrentía superficial es alta y presenta bajas tasas de infiltración. La textura media indica un espaciamiento promedio de entre 0.24 y 2 cm, la escorrentía y permeabilidad de los suelos es media. Las subcuencas de textura gruesa son aquellas donde el

espaciamiento entre corrientes de primer orden es superior a 2 cm, la escorrentía superficial es menor pero los suelos presentan alta permeabilidad (Neri-Gómez, 2000).

### *Climograma, intensidad de aridez y tasa de evapotranspiración*

El climograma fue obtenido consultando los datos de temperatura (°C) y precipitación (mm) de ocho estaciones meteorológicas, dos dentro del valle y seis fuera (anexo 1). Estas últimas estaciones fueron empleadas para formar un polígono climatológico, dando mayor confiabilidad a los datos estadísticos.

Para obtener la intensidad de aridez, se utilizaron los siguientes índices:

a) Cociente pluviométrico, Emberger (1930, 1933):

$$Q_1 = M - m$$

Donde M = Temperatura máxima promedio (°K) del mes más caliente  
 m = Temperatura mínima promedio (°K) del mes más frío  
 p = Precipitación anual promedio (mm)

$$Q_2 = \frac{2000 (P)}{M^2 - m^2}$$

b) Índice de aridez, Capot-Rey (1951):

$$I = \frac{100 (P/E) + 12 (p/e)}{2}$$

Donde E = Evaporación total en el año

P = Precipitación total en el año.

e = Evaporación en el mes más cálido

p = Precipitación en el mes más cálido

Para la evapotranspiración, se utilizaron los índices de evapotranspiración potencial y actual, propuestos por Turc (1951, 1961).

c) Índice de evapotranspiración potencial:

$$ETP = 0.4 (t)/15 (t) (RS + 50)(1 + [50 - HR]/70)$$

Donde ETP = Evapotranspiración potencial (mm)

t = Temperatura mensual promedio (°C)

RS = Radiación Solar (cal/cm<sup>2</sup>/día)

HR = Humedad Relativa (%)

Con respecto a la RS, se utilizo la constante para el estado de Puebla propuesta por Ramos y Aguilar (2006), la cual indica que:

$$RS = \frac{56 \times 10^{26} \text{ cal/min}}{4\pi (1.5 \times 10^{13} \text{ cm})^2} = 2.0 \text{ cal/cm}^2/\text{min} \times 60 \times 24 = 2\ 880 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$$

Puesto que:

$56 \times 10^{26} \text{ cal/min}$  es la energía que irradia el sol en su superficie cuya temperatura es de alrededor de  $5\ 750 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$1.5 \times 10^{13} \text{ cm}$  es la distancia promedio Tierra-Sol.

1 Langley =  $1 \text{ cal/cm}^2$

d) Índice de evapotranspiración potencial:

$$ETP = \frac{P}{\sqrt{0.9 + p^2/L^2}}$$

Donde  $L = 300 + 25 (t) + 0.005 (t)$

P = Precipitación anual promedio.

p = Precipitación mensual promedio

t = temperatura promedio anual

Con base en los anteriores índices, se construyó una tabla bioclimática para el Valle de Zapotitlán Salinas, siguiendo los criterios propuestos por la UNESCO (MAB, 1979; Le Houérou, 1982; Quézel y Barbero, 1982; tabla 2.2).

Tabla 2.2. Zonas bioclimáticas asociadas a medidas de intensidad de aridez (según Le Houérou, 1972; Quézel y Barbero, 1982).

Zona Bioclimática	P (mm)	Q <sub>2</sub>	I	P / ETP
Pre-húmeda	> 1200	> 150		
Húmeda	800 - 1200	110 - 150		
Sub-Húmeda	600 - 800	70 - 110		0.5 – 1.0
Semi-árida	400 - 600	45 - 70	4.0 – 4.5	0.2 – 0.5
Árida	100 - 400	10 - 45	0.3 – 4.0	0.03 – 0.2
Hiper-árida	< 100	< 10	< 0.3	< 0.03

P = Precipitación

Q<sub>2</sub> = Cociente Pluviométrico de Emberger

P / ETP = Cociente precipitación / evapotranspiración, cociente estándar de la UNESCO.

### *Parámetros fisicoquímicos*

En el lecho del río se midió la distancia entre las diferentes charcas o pozas con la corriente principal, así como la distancia entre charca y charca, utilizando un flexómetro de 20 m. También se midió largo, ancho y profundidad para cada poza. Paralelamente, se registró la temperatura (°C), salinidad (ppm – partes por millón) y oxígeno disuelto (mg/l) para cada poza, utilizando un conductímetro portátil Marca YSI Modelo 85-10 FT.

## **2.9. Resultados**

### *Subcuencas*

El Río Salado forma parte de la cuenca alta del Papaloapan, se encuentra abastecido por ríos de segundo y de tercer orden. Está conformado por dos cuencas: la cuenca alta y baja. (CNA, 2007; Fig. 2.4; tabla 2.3).

Tabla 2.3. Categorización hidrológica del Valle Zapotitlán Salinas.

Cuenca fluvial	Cuenca hidrológica	Subcuenca hidrológica
<b>Cuenca alta del Río Papaloapan</b>	<b>Río Salado</b>	Santa Ana
		Barranca Mihuatepec
		Barranca Soyolapa
		Cerro Grande
		San Juan Raya
		Barranca Tempesquistle
		Barranca Coahuino
		Barranca El Castillo
		San Martín
		Los Reyes Mezontla
		Barranca El palmon
		Barranca Tanguixe
		Barranca Calera
		Barranca Cutha
		Zapotitlán Salinas
		San Antonio
		Barranca La Plaza

Se determinaron un total de 17 subcuencas, de las cuales fueron tres las que presentaron un área mayor: Los Reyes Mezontla, San Juan Raya y Santa Ana, respectivamente (tabla 2.4, Fig. 2.5).

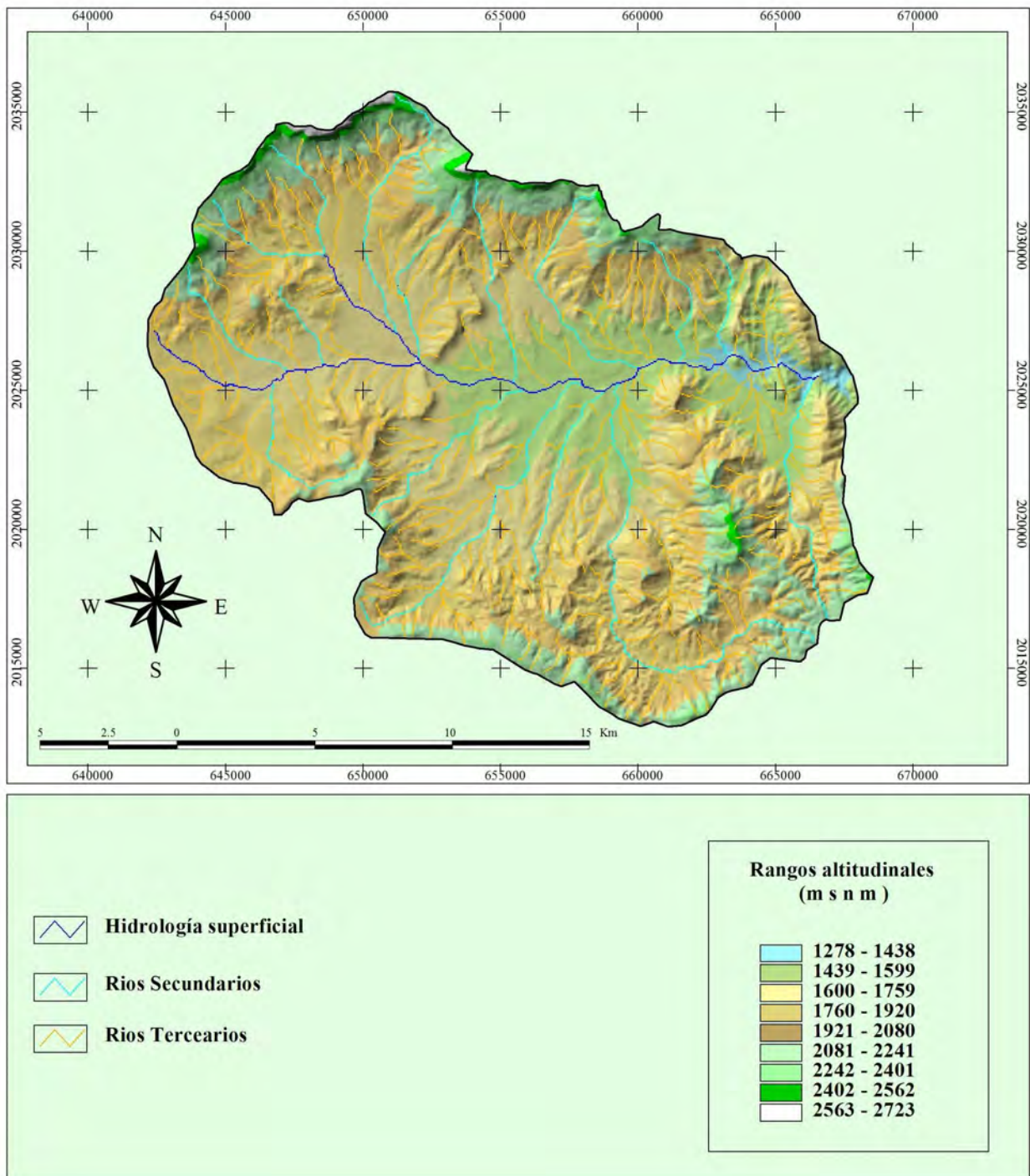


Figura 2.4. Hidrología del Valle de Zapotitlán Salinas.

Tabla 2.4. Subcuencas que conforman el Valle de Zapotitlán Salinas.

ID	Subcuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	Hectáreas
1	Santa Ana	52.64	37.80	5263.8
2	Barranca Mihuatepec	9.25	13.70	924.5
3	Barranca Soyolapa	5.0	95.62	500.0
4	Cerro Grande	16.13	18.65	1612.7
5	San Juan Raya	60.88	35.56	6087.7
6	Barranca Tempesquistle	18.88	22.90	1888.0
7	Barranca Coahuino	6.56	17.10	650.1
8	Barranca El Castillo	2.56	25.70	2545.5
9	San Martín	40.10	34.88	4097.0
10	Los Reyes Mezontla	84.02	42.33	8402.4
11	Barranca El palmon	16.14	19.42	1613.9
12	Barranca Tanguixe	17.63	26.15	1763.3
13	Barranca Calera	20.36	26.44	2035.6
14	Barranca Cutha	7.61	12.09	760.9
15	Zapotitlán Salinas	19.44	19.25	1943.9
16	San Antonio	2.21	8.06	226.7
17	Barranca La Plaza	4.11	11.85	411.1

La cuenca hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas presenta un área de casi 400 Km<sup>2</sup> con una altitud aproximada que oscila entre los 1450 y los 2500 m snm. La parte alta de la cuenca, formada por las subcuencas Los Reyes Mezontla, San Juan Raya y Santa Ana, suman un área de casi 200 Km<sup>2</sup>, las 13 subcuencas restantes suman el área restante. Los parteaguas definen la hidrología del valle en la parte alta con altitudes entre los 1800 y 2500 m snm, mientras que la parte baja oscila entre los 1450 y 1800 m snm (tabla 2.5). Por otra parte, la densidad de drenaje osciló entre 1 y 2, y prácticamente la textura de las subcuencas fue media (tabla 2.6).

Tabla 2.5. Subcuencas que conforman el Valle de Zapotitlán Salinas.

Subcuenca	m snm	Relieve
Santa Ana	1900 - 2500	Accidentado
Barranca Mihuatepec	1500 - 1650	Accidentado
Barranca Soyolapa	1450 - 1600	Llano
Cerro Grande	1400 - 1750	Llano-Mediano
San Juan Raya	1750 - 2000	Llano
Barranca Tempesquistle	1600 - 1900	Accidentado
Barranca Coahuino	1400 - 1650	Mediano
Barranca El Castillo	1400 - 1900	Mediano-Accidentado
San Martín	1450 - 2000	Accidentado
Los Reyes Mezontla	1400 - 2100	Accidentado
Barranca El palmon	1750 - 2300	Accidentado
Barranca Tanguixe	1500 - 1900	Accidentado
Barranca Calera	1450 - 1800	Mediano-Accidentado
Barranca Cutha	1550 - 1900	Mediano-Accidentado
Zapotitlán Salinas	1450 - 2500	Accidentado
San Antonio	1500 - 1700	Llano
Barranca La Plaza	1700 - 2000	Mediano

Tabla 2.6. Morfometría de la red de drenaje del valle.

<b>Subcuenca</b>	<b>Densidad de drenaje Km/Km<sup>2</sup></b>	<b>Textura</b>	
Santa Ana	2.19	0.69	Media
Barranca Mihuatepec	0.54	0.78	Media
Barranca Soyolapa	1.67	0.43	Media
Cerro Grande	1.24	0.90	Media
San Juan Raya	1.60	0.72	Media
Barranca Tempesquistle	1.57	0.39	Media
Barranca Coahuino	0.91	0.65	Media
Barranca El Castillo	0.11	0.21	Fina
San Martín	1.34	0.48	Media
Los Reyes Mezontla	2.47	0.35	Media
Barranca El palmon	1.61	0.45	Media
Barranca Tanguixe	2.20	0.68	Media
Barranca Calera	2.56	0.77	Media
Barranca Cutha	0.76	0.58	Media
Zapotitlán Salinas	1.30	0.51	Media
San Antonio	0.56	0.53	Media
Barranca La Plaza	0.82	0.49	Media

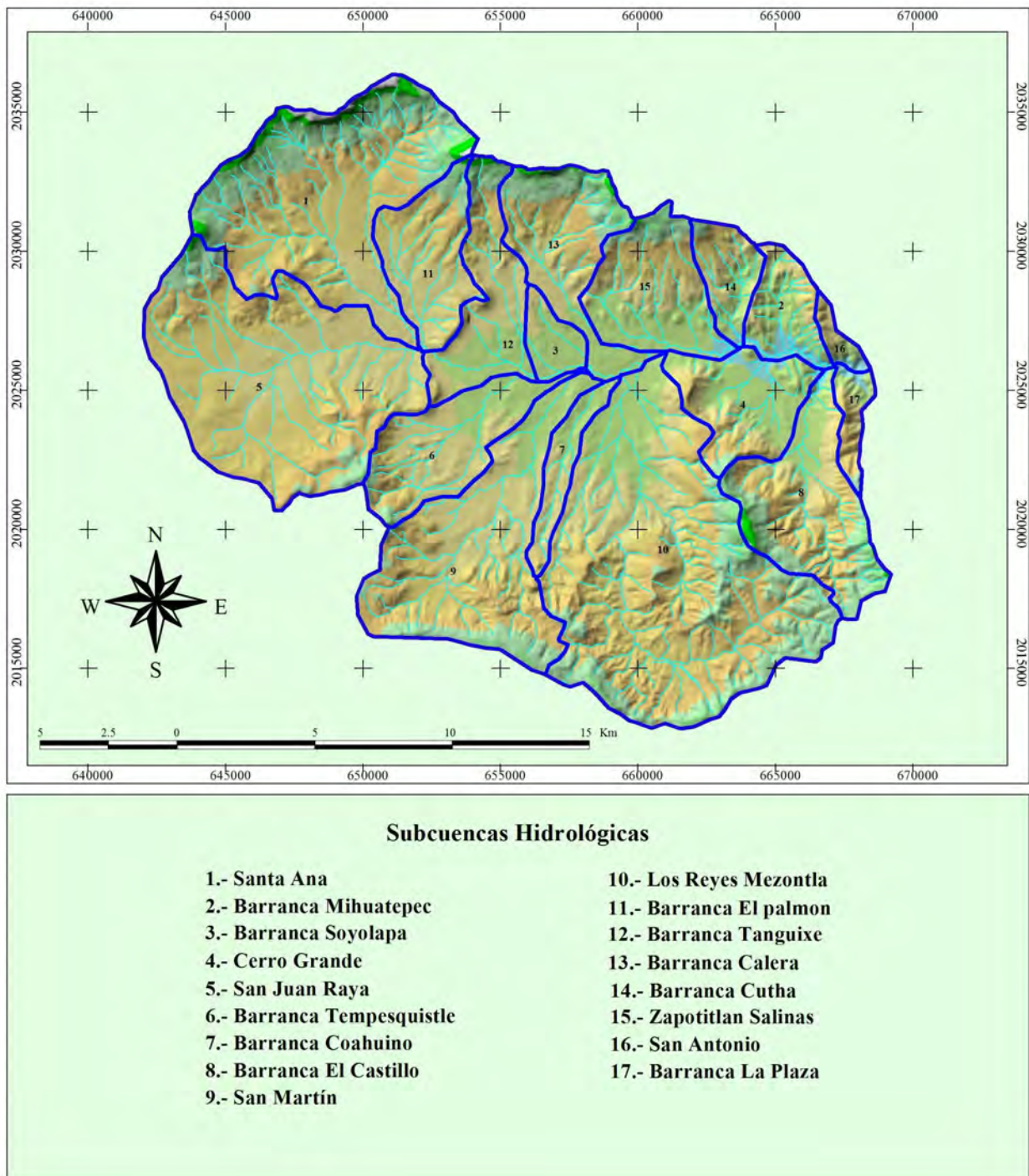


Figura 2.5. Subcuencas del Valle de Zapotitlán Salinas.



*Climograma, intensidad de aridez y tasa de evapotranspiración*

El Valle de Zapotitlán Salinas presentó una marcada estacionalidad entre temporada de lluvias y estiaje, donde los picos máximos se presentan en Julio y Septiembre. El índice de precipitación fue menor a los 500 mm anuales, lo cual corrobora lo semiárido de ésta zona (Fig. 2.6; tabla 2.7).

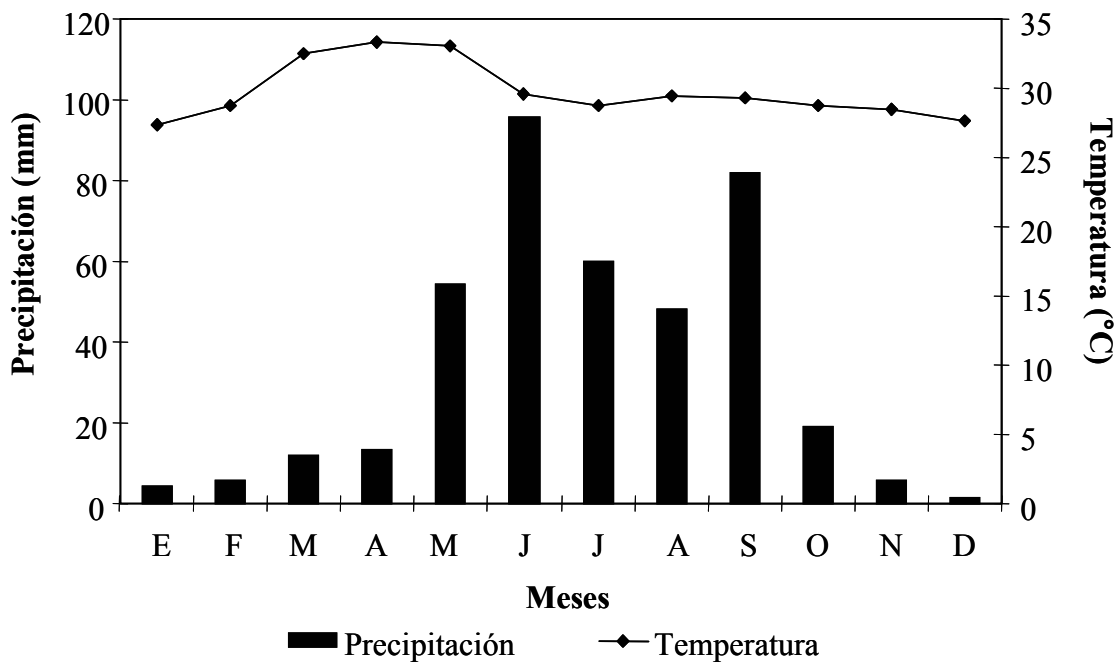


Figura 2.6. Climograma del Valle de Zapotitlán Salinas.

Tabla 2.7. Índices de aridez para el Valle de Zapotitlán Salinas.

Zona	P (mm)	Q <sub>2</sub>	I	P / ETP
Valle de Zapotitlán Salinas	429.6	55.77	3.98	0.22

*Parámetros fisicoquímicos*

La mayor parte de los parámetros fisicoquímicos se obtuvieron de 20 pozas asociadas al Río Salado en las subcuencas 2, 4, 7, 8, 10, 13 y 15 (ver Fig. 2.5). Las pozas presentaron una gama de tamaños y profundidades. La salinidad, oxígeno disuelto y temperatura oscilaron de casi cero 0 a cerca de 2.0 ppt; de 2.5 a 5.5 mg/lit y de 20 a 29 °C, respectivamente (tabla 2.8).

Tabla 2.8. Parámetros fisicoquímicos de las pozas.

Poza	Profundidad (cm)	Área (m <sup>2</sup> )	O <sub>2</sub> Disuelto (mg/lit)	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)
1	4.5	1.31	2.78	0.05	20.45
2	16.25	27.36	2.98	1.1	21.5
3	6.86	12.4	2.96	0.43	24.2
4	12.44	18.05	3.15	0.66	24.22
5	68.5	29.68	4.38	0.4	25.64
6	14.58	23.4	3.99	0.54	25.16
7	11.66	48.12	3.73	0.32	25.58
8	21.7	49.58	3.08	0.56	26.76
9	37	48.45	2.55	0.75	21.65
10	7.36	11.76	5.36	0.53	21.93
11	28.25	34.43	3.95	0.37	24.25
12	11.87	42.76	3.98	1.9	25.2
13	20.2	24.19	3.43	0.4	26.76
14	11.8	95.02	5.54	0.52	27.64
15	27.33	29.42	3.34	0.7	26.33
16	15.66	36.31	4.03	0.26	27.2
17	26.88	27.33	4.66	1.02	29.4
18	15.33	39.3	5.01	0.63	29.1
19	9.9	21.2	4.14	0.14	27.56
20	12.5	38.17	4.23	0.45	28.3

## **2.10. Discusión**

### *Subcuencas*

La cuenca hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas presenta un área total de casi 400 Km<sup>2</sup>, la cual está dividida en la cuenca alta y la baja. En la primera, se presentan oscilaciones que van desde los 1840 hasta los 2500 m, mientras que en la segunda, el gradiente oscila entre los 1400 y los 1840 m snm. En su mayoría, el área presenta un relieve accidentado, lo que influye de manera directa que el agua sea transportada rápidamente durante las lluvias torrenciales desde las partes más altas con la fuerza necesaria para arrastrar una gran cantidad de sedimentos, permitiendo un fuerte proceso de erosión. Dicho aporte de sedimentos es diferente por cada una de las subcuencas con conforman al valle (Neri-Gómez, 2000). Esto se ha observado en otras zonas áridas y semiáridas donde las tasas de erosión y precipitación son mayores para pequeñas cuencas de drenaje entre 26 y 130 Km<sup>2</sup> (Langbein y Schumm, 1958; Schumm, 2005).

De manera general, la cuenca hidrológica del valle tiene una pendiente de cerca del 17 %, dónde el agua que viaja a lo largo de cada tributario presentando diferente velocidad de acuerdo al ángulo de cada una de las pendientes, incorporándose en las pendientes llanas que se incorporan al río donde se forman las “barrancadas”. Estos procesos son característicos de cuencas maduras donde la erosión también provee una recarga a los ríos por la acción pluvial y desgaste de masa donde guían a un incremento en la resistencia del flujo en zonas bajas, y la divergencia del flujo alrededor de las obstrucciones que forman los bancos sobre las planicies de inundación (Charlton, 2009).

El trayecto del Río Salado es de 32 Km aproximadamente, donde el perfil del cauce principal facilita la determinación de la inclinación y longitud, lo cual tiene efectos importantes en la respuesta hidrológica del valle. Uno de ellos es la densidad de drenaje, cuya importancia radica en la relación que presenta con otros elementos que conforman las subcuencas como son: la litología, precipitación, infiltración y cobertura vegetal. Este proceso es evidente en las zonas de parteaguas, que para este trabajo se pueden observar valores de densidad altos para las subcuencas más grandes, de mayor altitud y con el relieve más accidentado (Fig. 2.5, tabla 2.6).

Durante la temporada de estiaje, se presentan corrientes efímeras e intermitentes a lo largo del Río Salado, lo cual es una propiedad característica de zonas áridas y semiáridas, puesto que el flujo

se da principalmente durante y después de las tormentas (Bull y Kirkby, 2002). Esto tiene una relativa importancia en muchos procesos hidrológicos, especialmente en su magnitud y frecuencia.

La caracterización hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas se enfocó desde una perspectiva biogeográfica, debido a que los aspectos geográficos de la hidrología del valle no se pueden aislar de los procesos y patrones biológicos, razón por la cual se propone que la caracterización en su conjunto sea conceptualizada como ecohidrología, para comprender en mayor medida la interacción de la dinámica del ecosistema con el aspecto hidrológico (como se tratará en el capítulo 3), principalmente debido a que en ambientes áridos y semiáridos el agua es un recurso limitado debido a su escasez, intermitencia y presencia impredecible (Porporato y Rodríguez-Iturbe, 2002; Rodríguez-Iturbe y Porporato, 2005).

#### *Climograma, intensidad de aridez y tasa de evapotranspiración*

Se han encontrado evidencias de que el proceso de formación de la región semidesértica del Valle de Tehuacan (en el cual está inmerso el Valle de Zapotitlán Salinas), estuvo relacionado con eventos tectónicos durante el Cretácico. Sin embargo, durante el Cenozoico se modeló su estructura y morfología actual (Nieto-Samaniego *et al.*, 1995), específicamente del período Paleoceno al Mioceno (Dávalos-Álvarez *et al.*, 2007). Esta deformación litológica produjo cambios orográficos los cuales formaron barreras para los vientos húmedos provenientes tanto de la vertiente del Golfo de México como del Pacífico, de tal manera que el clima fue cada vez más seco.

El grado de aridez del valle se puede confirmar con base en los datos del climograma y al índice de intensidad de aridez donde en éste último se considera la precipitación, temperatura y evapotranspiración para calcular una serie de cocientes e índices, el Valle de Zapotitlán corresponde a una zona bioclimática semiárida (ver tablas 2.2 y 2.7), puesto que uno de los tipos de clasificación de estas regiones más utilizados incluye cuatro zonas bioclimáticas: 1) zonas extra áridas, carentes de vegetación cuyos niveles de precipitación no rebasan los 100 mm por año; 2) zonas áridas con vegetación escasa y dispersa representada por suculentas anuales y perennes cuya precipitación oscilan de 100 a 200 mm por año; 3) zonas semiáridas cubiertas con arbustos y pastizales, donde su nivel de precipitación va de 200 a 400 mm al año (que es el caso para el Valle de Zapotitlán Salinas); 4) zonas de humedad baja, las cuales incluyen algunas sabanas tropicales y zonas de chaparral con niveles de precipitación de 400 a 800 mm anuales (Sokolov y Halfter, 1992). Otros índices se han aplicado para cuantificar la severidad y magnitud de aridez, los cuales

generalmente se basan para caracterizar sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas (Heim, 2002).

La evapotranspiración del valle se da en tasas elevadas al igual que otras zonas áridas y semiáridas donde las condiciones de un grado de humedad alto está presente sólo por períodos cortos inmediatamente después de la lluvia (Grayson *et al.*, 2006), debido a un descenso rápido en la conductividad hidráulica o un aumento en la resistencia al flujo de agua en suelos secos (Zaslavsky y Sinai, 1981). Cuando la evapotranspiración excede la precipitación, el suelo se seca hasta el punto donde la conductividad hidráulica es baja y cualquier precipitación humedece superficialmente el suelo donde el se evapora casi inmediatamente antes de que se de una distribución lateral. De tal manera, la humedad del suelo es controlada hasta cierto punto por el balance entre la precipitación y la evapotranspiración, así como por la distribución lateral del agua. En el valle, el tipo de suelo que se encuentra es comúnmente de yeso y caliza, que durante aguaceros torrenciales, hay escurrimientos con un transporte alto de sedimentos que contienen elevados niveles de salinidad. De hecho, en Zapotitlán Salinas el suelo ha sido explotado desde tiempos prehispánicos por la cultura popoloca para la obtención de sal. Esta explotación se ha llevado a cabo hasta la actualidad y se ha conservado la técnica prehispánica, de tal modo que se pueden observar tanto salinas recientes como prehispánicas, aún en funcionamiento.

Aunque la vegetación del Valle de Zapotitlán Salinas es diversa (Valiente-Banuet *et al.*, 2009), no es tan abundante como para absorber cantidades significativas de agua. La distribución dispersa de la cubierta vegetal permite que el agua se evapore fácilmente (tal vez sea un factor importante en la elevada tasa de evapotranspiración). Sin embargo, no sólo la vegetación afecta la humedad del suelo, así como el proceso de evapotranspiración, también está involucrada la topografía y las propiedades del suelo, como se menciono anteriormente.

### *Parámetros fisicoquímicos*

Dentro de los parámetros fisicoquímicos considerados en la caracterización hidrológica se encuentran la salinidad, oxígeno disuelto y temperatura (tabla 2.8), se discutirá la importancia de los dos últimos en el siguiente capítulo.

La mayor parte de la litología del valle está conformada por rocas sedimentarias (López-Galindo *et al.*, 2003), como calizas y lutitas, las cuales durante los procesos de erosión han formado

suelos ricos en magnesio, calcio y potasio, principalmente. Los aportes de sedimentos ricos en estos elementos pudieron determinar la característica salina de los cuerpos de agua permanentes e intermitentes de las subcuencas del Valle de Zapotitlán. Éste proceso se ha observado en otras zonas semiáridas con características litológicas y edafológicas similares donde las áreas expuestas sufren una elevada tasa de evaporación tanto de las plantas como del suelo, lo cuál está vinculado a un descenso en las reservas hídricas que no son remplazadas debido a una escasa o ausente precipitación. Cuando la evaporación excede la precipitación, la humedad del suelo desciende y la concentración de sales aumenta. Dicha acumulación puede tener repercusiones cuando inicia el transporte de agua desde las zonas altas, debido a que conforme va descendiendo el, se van acumulando más sedimentos que pudieran estar afectando los niveles de salinidad del río.

En estudios posteriores, se podría realizar un seguimiento de los niveles de salinidad desde las partes altas hasta las partes más bajas para comprender en mayor medida como los procesos de erosión y evapotranspiración pueden estar involucrados en la formación de sales que modifican las propiedades fisicoquímicas de los cuerpos de agua presentes en el valle.

### **2.11. Conclusiones**

- Las fisiografía está involucrada de manera directa en las características hidrológicas de las subcuencas que conforman al Valle de Zapotitlán Salinas.
- La cuenca hidrológica del Valle de Zapotitlán Salinas está conformada por 15 subcuencas, considerando dos parteaguas y los escurrimientos que transportan la mayor cantidad de tributarios (primer y segundo orden).
- La hidrología del valle está conformada por ríos de primer, segundo y tercer orden.
- El relieve accidentado de cada subcuenca influye en las condiciones microclimáticas.
- La condición semiárida del valle está determinada por una mayor tasa de evapotranspiración en relación a la precipitación.
- El índice de aridez se encuentra dentro del parámetro establecido por los criterios internacionales.
- La salinidad del río y de los cuerpos de agua asociados a él está determinada por las propiedades litológicas y edáficas.

PARTE II  
ASPECTOS ECOLÓGICOS Y DE  
CONSERVACIÓN.



### Capítulo 3.

## Factores que influyen en la distribución de renacuajos a lo largo del Río Salado.\*

---

---

### 3.1. Abstract

Monthly variation in the characteristics of river sections along the Río Salado and how these factors affected the distribution tadpoles was examined. Tadpoles of the toad, *Ollotis occidentalis*, were observed in the river in March 2007 and from November 2007 through February 2008. Sections of the Río Salado with tadpoles were deeper, wider, and longer than sections without tadpoles. Tadpoles were only found in the main river channel. Dissolved oxygen levels were higher and salinity was lower in river sections with tadpoles compared to the sections without tadpoles. There was no difference in temperature between sections with and without tadpoles. Tadpoles were found in river sections that contained more vegetation than river section without tadpoles. These results suggest that the distribution of tadpoles of *O. occidentalis* is related to the permanence of water, the chemical nature of the water, and the presence of vegetation.

### 3.2. Resumen

Se examinó la variación mensual en las pozas asociadas a lo largo del Río Salado y como estos factores afectaron la distribución de los renacuajos. Los renacuajos del sapo, *Ollotis occidentalis*, fueron observados en el río en marzo de 2007 y de noviembre de 2007 a febrero de 2008. Las secciones del Río Salado con renacuajos eran más profundas, más amplias, y más largas que secciones sin renacuajos. Los renacuajos sólo fueron encontrados en la corriente principal del río. Los niveles de oxígeno disueltos eran más altos y la salinidad era inferior en secciones del río con renacuajos comparados a las secciones sin renacuajos. No hubo ninguna diferencia en la temperatura entre secciones con y sin renacuajos. Los renacuajos fueron encontrados en las secciones del río que contenían más vegetación que la sección del río sin renacuajos. Estos resultados sugieren que la distribución de los renacuajos de *O. occidentalis* se relaciona con la permanencia del agua, la naturaleza química del agua, y la presencia de vegetación.

*\*El contenido de este capítulo fue enviado a la revista Acta Herpetologica*

### 3.3. *Introducción*

Por décadas, el comprender los mecanismos y patrones que determinan ciertos procesos en las comunidades ecológicas ha sido un punto importante (Dayton y Fitzgerald, 2001). El entorno provee de recursos para la existencia de la vida y al mismo tiempo impone restricciones para la misma. Averiguar y entender cuales son las características idóneas y cuales no, es una tarea que todo investigador intenta descifrar. Uno de los patrones principales es la distribución de una especie, que está limitada por su tolerancia fisiológica o por sus interacciones intra e interespecíficas (competencia, depredación), o por la combinación de ambos factores.

Los anfibios son uno de los grupos de vertebrados menos entendidos en lo que respecta a su biología, sistemática y ecología; juegan un papel fundamental en los ecosistemas ya que la mayoría de las veces son especies controladoras por su alimentación predominantemente a base de invertebrados. Debido a los registros de su reciente declinación, comienza a obtenerse un mayor conocimiento acerca de su hábitat y su reproducción (Collins y Crump, 2009). Para aquellos que se limitan a vivir en pozas o charcas temporales la pregunta relevante es “¿porqué se reproducen en ciertas pozas y no en otras?”. Las charcas varían ampliamente en tamaño, hidroperiodo, química del agua y composición de especies. Las especies varían en su respuesta para muchas variables abióticas (Warner *et al.*, 1993). En algunos casos, la distribución de estos organismos en dichas pozas parece estar condicionada por las características químicas y físicas de la misma, así como por los factores extrínsecos e intrínsecos (Eason y Fauth, 2001; Welch y MacMahon, 2005).

Los factores extrínsecos incluyen: temperatura, densidad y competencia, suministro y calidad de alimento, depredación, lugar de reproducción, salinidad del agua, etc. Los factores intrínsecos incluyen: talla corporal, tamaño del huevo y reserva de la yema, principalmente. Estos factores actúan en sinergia para incrementar o disminuir las tasas de crecimiento y desarrollo que ocurre dentro y en cada estadio de vida en los anuros (Morrison y Hero, 2003). Muchas especies de anfibios parecen estar restringidos por limitantes bióticas y abióticas tales como el hidroperiodo, disponibilidad de alimento, temperatura, depredación y competencia, particularmente en los estadios larvarios. Los factores abióticos no solo limitan el posible hábitat donde una especie es encontrada sino que también pueden determinar que tan viable es una población en algún hábitat (Warner *et al.*, 1993).

Adicionalmente, la interacción del ambiente químico y físico con el ambiente biótico determina potencialmente el éxito de las larvas de anfibios, afectando así su distribución entre diferentes cuerpos de agua. Estos factores varían según el ambiente en el que se desarrolla un anfibio, siendo más estables en hábitats con abundante agua e inestables en las regiones donde ésta es escasa o varía en cantidad a lo largo del año, y en los que los anfibios logran sobrevivir favorablemente (Sadinski y Dunson, 1992; Warner *et al.*, 1993; Skelly, 1996; Smith *et al.*, 2006). Los renacuajos que se desarrollan en hábitats impredecibles e inestables generalmente muestran una variación más grande tanto en el periodo de desarrollo larvario como en el tamaño del cuerpo durante la metamorfosis (Thompson *et al.*, 1998). Asimismo, las tasas del crecimiento y de desarrollo están influenciadas por los factores intrínsecos y extrínsecos mencionados anteriormente.

La temperatura y la lluvia son los principales factores determinantes de la sincronización reproductiva en anfibios (Duellman y Trueb, 1994). El primer factor tiene efectos diferenciales sobre las tasas de crecimiento y desarrollo larval; ésta diferenciación cesa a bajas temperaturas (como en invierno) pero el crecimiento continúa (a una tasa absoluta más lenta que durante los meses más calurosos del verano) hasta que eventualmente las temperaturas llegan a ser demasiado bajas y tanto el crecimiento como el desarrollo cesan (Morrison y Hero, 2003).

Generalmente los anfibios son considerados incapaces de sobrevivir en condiciones de elevada salinidad (Ultsch *et al.*, 1999) aunque se sabe que algunas especies de anuros tienen una alta tolerancia a esta, como *Limnonectes cancrivorus*, *Bufo calamita* y *Bufo bufo* (Christy y Dickman, 2002). Los anuros que habitan ambientes xéricos sufren presiones específicas de diversas fuerzas selectivas; la desecación y el hidropereodo de los cuerpos de agua, el periodo de lluvias, la temperatura, los depredadores y competidores, el pH, y la acción del hombre influyen de manera directa en su desarrollo larvario, y establecen la duración del tiempo disponible para el periodo o tiempo de metamorfosis (Zweifel, 1968).

Uno de los principales causantes de las alteraciones no solo en las poblaciones de anfibios sino en el ambiente en general ha sido el hombre. La fragmentación y pérdida del hábitat, el aumento en las actividades agrícolas y ganaderas, la introducción de especies no nativas, la contaminación ambiental y la sobreexplotación de los recursos se ha ido incrementando en los últimos años lo cual

ha ocasionado cambios considerables en el uso del suelo, alterando también sus características físicas y químicas.

La región del Valle de Zapotitlán Salinas es una zona ideal para estudiar estas condiciones cambiantes que afectan el desarrollo en los anfibios. En este valle la evaporación excede a la precipitación pluvial, y no existe ninguna corriente permanente. Hay microcuencas que permiten la formación de corrientes y charcas (ver capítulo 2), generalmente temporales, que sirven de hábitat para los anfibios (Woolrich-Piña *et al.*, 2005).

En este capítulo se analizan cuáles son las características bióticas y abióticas que presentan las pozas o charcas ubicadas a lo largo del Río Salado en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Las especies de anfibios que habitan las pequeñas pozas estacionales que se encuentran a lo largo del Río Salado se refieren en el capítulo 1. Los anfibios de las pozas del Río Salado en Zapotitlán proporcionan una oportunidad única para evaluar la importancia de estos aspectos en la distribución de las larvas de anfibios en esta región.

### **3.4. Antecedentes**

La riqueza biológica del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, es única y es una de las más fascinantes de la República Mexicana. Sin embargo, el conocimiento de la herpetofauna, y particularmente de los anfibios de este valle, es pobre e insuficiente (Woolrich-Piña *et al.*, 2005). Un censo inicial de la herpetofauna reportó 22 especies (Martín del Campo y Sánchez-Herrera, 1979). Posteriormente otro censo reportó 32 taxa de anfibios y reptiles (Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayen, 1996). Las últimas descripciones de especies para el Valle de Zapotitlán Salinas han sido un anuro (*Exerodonta [=Hyla] xera*, Mendelson y Campbell, 1994), y una serpiente (*Micrurus pachecogili*, Campbell, 2000). Más recientemente ha habido estudios que examinaron los efectos del deterioro del hábitat sobre los anfibios y los reptiles (Mata-Silva, 2000), la termorregulación en cinco especies de lagartijas (González-Espinosa *et al.*, 1999, 2002; Woolrich-Piña *et al.*, 2003a, b). Oliver-López *et al.* (2000) y Oliver-López y Ramírez-Bautista (2002) reportaron algunos aspectos reproductivos de los anuros del Valle de Zapotitlán Salinas. Abbadié-Bisogno *et al.*, (2004) realizaron una nota de manera anecdótica sobre el comportamiento fingidor de *Ollotis occidentalis*, Correa-Sánchez (2004) aportó datos sobre la reproducción de *Sceloporus gadoviae*, Abbadié-

Bisogno (2004) recopiló algunos aspectos ecológicos de *Exerodonta [=Hyla] xera* e *Hyla arenicolor*. Woolrich-Piña *et al.*, (2005) proporcionaron la lista, notas de historia natural, claves de identificación y descripciones generales de los anfibios y reptiles del Valle de Zapotitlán Salinas; Oliver-López (2006) estudió algunos aspectos sobre la ecología de la reproducción y el desarrollo larvario del ensamble de los anuros de este valle; Serrano-Cardozo (2007) analizó la importancia de las contribuciones local y regional en la estructuración del ensamble de los lacertilios de Zapotitlán Salinas y lo comparó con el ensamble de lacertilios que habitan regiones de bosque tropical caducifolio. Woolrich-Piña (2007) evaluó los factores estructurantes del gremio de lagartijas insectívoras de Zapotitlán Salinas.

### **3.5. Objetivo General**

Analizar las características bióticas y abióticas que se presentan en las charcas o pozas ubicadas a lo largo del Río Salado en Zapotitlán Salinas, Puebla, México.

### **3.6. Objetivos particulares**

- Describir las variaciones observadas en las dimensiones (largo, profundidad, ancho), y características abióticas (salinidad; temperatura y oxígeno disuelto) de las pozas que se encuentran a lo largo del Río Salado.
- Describir la distribución y abundancia de las larvas de anfibios en las charcas o pozas que se encuentran a lo largo del Río Salado.

### **3.7. Hipótesis**

Ho: Si las diferentes condiciones abióticas (salinidad, dimensiones de las charcas, temperatura, oxígeno disuelto, etc.) tienen influencia sobre las larvas de anfibios en las pozas del Río Salado (Zapotitlán Salinas, Puebla) entonces éstas determinarán la distribución y abundancia de los mismos.

### **3.8. Material y método**

Sistema de estudio (ver el capítulo 1 para más detalles). El Río Salado corre a través del Valle de Zapotitlán Salinas. A lo largo del río se forman pozas estacionales, principalmente en la estación seca cuando el nivel de agua del Río Salado desciende.

Se realizaron muestreos diurnos de Febrero de 2007 a Junio de 2008. Para cada charca o poza se midió la distancia que hay entre ésta y la corriente principal, la distancia entre cada charca o poza contigua, así como sus dimensiones físicas (largo, ancho y profundidad) con un flexómetro de 20 metros de largo, para así poder obtener una estimación de su área. A su vez, se registró para cada charca su temperatura (°C), salinidad (ppm) y oxígeno disuelto (mg/lt), utilizando un medidor de conductividad portátil Marca YSI Modelo 85-10 FT. Se estimó el porcentaje de cobertura vegetal midiendo el área de la charca cubierta por las algas que crecen en éstas, y comparándola con el área total de la charca.

Cada charca fue sistemáticamente revisada para determinar la presencia o ausencia de masas de huevos, estadios larvales y adultos registrando la ubicación de éstos y describiendo el microhábitat específico del sitio de observación. Los renacuajos de cada muestra se colectaron con redes de malla fina, y fueron pesados (en gramos) vivos en el sitio de muestreo, utilizando una balanza electrónica portátil Marca YOKO Modelo FC-01, para relacionar el efecto de los factores abióticos sobre éste, y de igual forma fueron medidos con un vernier de 0.05 mm. de precisión (obteniendo longitud total en centímetros); asimismo se determinó el estadio larval según las claves de Gosner, 1960 y Limbaugh y Volpe, 1957.

Para establecer variaciones en las características fisicoquímicas del río, se usó una ANOVA univariada sobre cada variable independiente con el mes como factor. Para examinar las diferencias entre las secciones del Río Salado con y sin renacuajos, se utilizó un análisis multivariado (MANOVA) con el mes y la presencia de larvas de anuros como variables independientes y los parámetros fisicoquímicos como las variables dependientes (Manly, 2005; Sokal y Rohlf, 1995). Éste análisis se limitó de noviembre del 2007 a febrero del 2008 debido a que fue el tiempo en el que los renacuajos estuvieron presentes. Los valores significativos de las MANOVAS fueron seguidos

por un análisis de varianzas debido a que algunas secciones del río no se les pudo dar seguimiento por la naturaleza misma del río.

### **3.9. Resultados**

#### *Variación mensual.*

La profundidad de las secciones del río (pozas) varió significativamente entre los diferentes meses, con los valores más bajos en Agosto y un ligero incremento en los meses subsecuentes hasta el mes de Junio (Fig. 3.1A;  $F_{14,206} = 2.74$ ,  $P = 0.001$ ). También se presentó una variación mensual tanto en la anchura (Fig. 3.1B;  $F_{14,206} = 2.68$ ,  $P = 0.0012$ ), como en la longitud de las 94 secciones del río (Fig. 3.1C;  $F_{14,206} = 5.00$ ,  $P < 0.0001$ ), las cuales fueron mayores de Marzo a Agosto y disminuyeron de Septiembre a Junio.

La distancia de las pozas al canal principal fue diferente entre los meses, con picos máximos en Julio, Agosto y Diciembre (Fig. 3.1D;  $F_{14,206} = 3.35$ ,  $P < 0.0001$ ). El oxígeno disuelto mantuvo niveles altos relativamente constantes con un descenso mínimo durante Junio del 2007, y de Febrero a Junio del 2008 (Fig. 3.1E;  $F_{14,206} = 2.48$ ,  $P = 0.0029$ ). Por otra parte, la salinidad mostró una tendencia significativa hacia valores altos durante el estudio (Fig. 3.1F;  $F_{14,206} = 20.18$ ,  $P < 0.0001$ ). Asimismo, la temperatura del agua varió significativamente entre el tiempo de la investigación (Fig. 3.1G,  $F_{14,206} = 11.33$ ,  $P < 0.0001$ ). La cantidad de cubierta vegetal en las pozas fue baja para la mayor parte del tiempo, con distintos periodos de una mayor cubierta en Marzo del 2007 y de Noviembre a Febrero del 2008 (Fig. 3.1H;  $F_{14,206} = 18.2$ ,  $P < 0.0001$ ).

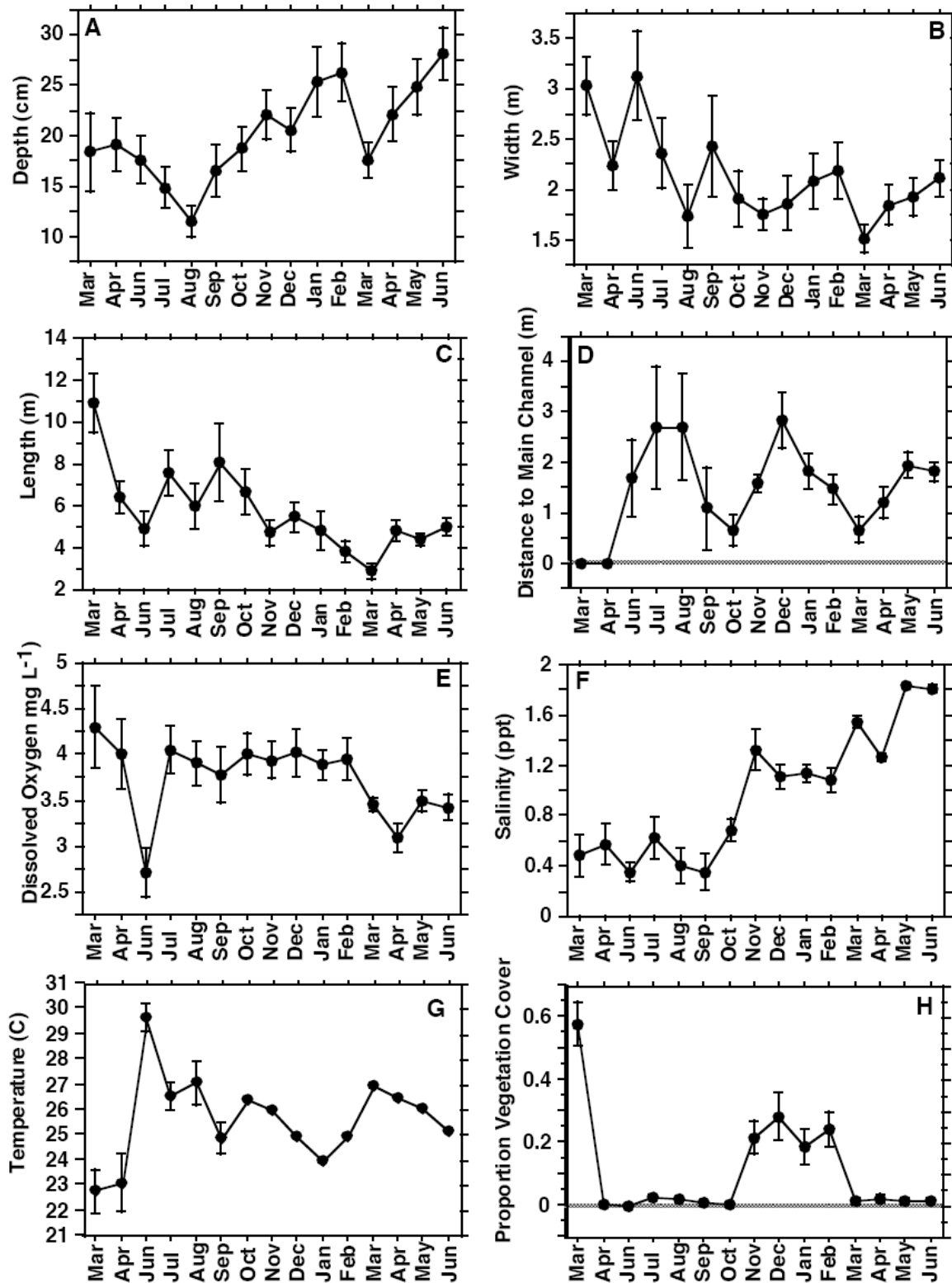


Figura 3.1. Proporción de observaciones en las secciones del río que contenían renacuajos de Marzo de 2007 a Junio de 2008. Los números indican el número de observaciones de cada sección del Río Salado.



*Comparaciones de pozas con y sin renacuajos.*

Se observaron renacuajos en el río durante marzo de 2007 y de noviembre de 2007 a febrero de 2008 (Fig. 3.2). Para indagar de manera precisa los factores que podrían influir en la distribución de las larvas en el Río Salado, el análisis se limitó a las observaciones realizadas de noviembre de 2007 a febrero de 2008 (durante una estación reproductiva).

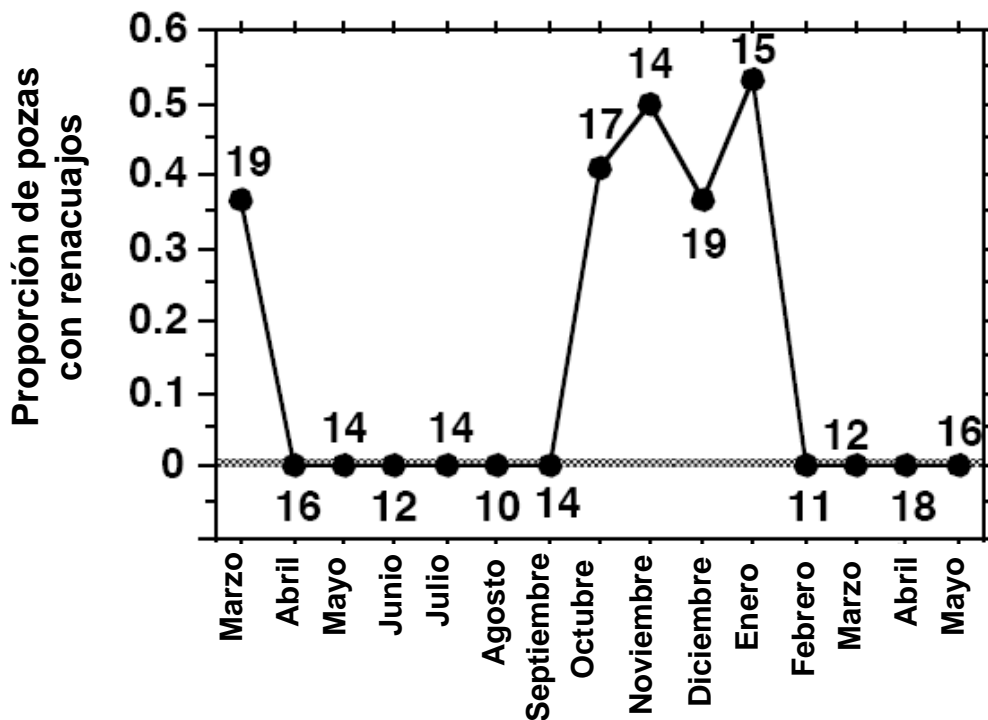


Figura 3.2. Proporción de observaciones en las secciones del río que contenían renacuajos de Marzo de 2007 a Junio de 2008. Los números indican el número de observaciones de cada sección del Río Salado.

El análisis multivariado demostró diferencias significativas entre las secciones del río con y sin renacuajos. (Wilks'  $\lambda = 0.024$ ,  $F_{8,50} = 251.55$ ,  $P < 0.0001$ ). Por otra parte, también se observó un efecto significativo durante los meses (Wilks'  $\lambda = 0.009$ ,  $F_{24, 146} = 24.84$ ,  $P < 0.0001$ ), así como entre la interacción entre los meses con la presencia de las larvas (Wilks'  $\lambda = 0.137$ ,  $F_{24, 146} = 5.98$ ,  $P < 0.0001$ ).

La profundidad del agua varió entre el tiempo de estudio (Fig. 3.3A;  $F_{3,57} = 3.96$ ,  $P = 0.012$ ), siendo mayor en las pozas que contenían renacuajos (Fig. 3.3A;  $F_{1,57} = 53.2$ ,  $P < 0.0001$ ). La diferencia en la profundidad entre las secciones del río con y sin larvas incrementó a través del tiempo (Fig. 3.3A;  $F_{3,57} = 9.88$ ,  $P < 0.0001$ ). Por otro lado, la anchura de las pozas no fue diferente entre los meses (Fig. 3.3B;  $F_{3,57} = 1.41$ ,  $P = 0.25$ ). Las pozas con renacuajos fueron más anchas que las que no contenían larvas (Fig. 3.3B;  $F_{1,57} = 10.5$ ,  $P = 0.0005$ ). Asimismo, se observó una diferencia entre pozas con y sin renacuajos, la cual se fue incrementado en el tiempo (Fig. 3.3B;  $F_{3,57} = 3.45$ ,  $P = 0.022$ ). Con respecto a la longitud de las secciones estudiadas del río, no cambio en los meses del estudio (Fig. 3.3C;  $F_{3,57} = 1.17$ ,  $P = 0.33$ ). Las pozas con larvas fueron más largas que las pozas sin renacuajos (Fig. 3.3C;  $F_{1,57} = 21.5$ ,  $P < 0.0001$ ). La interacción entre la presencia de renacuajos y los distintos meses no fue significativa (Fig. 3.3C;  $F_{3,57} = 0.84$ ,  $P = 0.48$ ).

La distancia de las pozas al canal principal del río varió de mes a mes (Fig. 2D;  $F_{3,57} = 6.39$ ,  $P = 0.0008$ ). Las secciones del río que contenían larvas se encontraban más próximas al canal principal en relación a las pozas que no contenían renacuajos (Fig. 3.3D;  $F_{1,57} = 61.7$ ,  $P < 0.0001$ ). De hecho, ningún renacuajo fue observado en pozas alejadas del canal principal. Ésta tendencia fue durante el tiempo de estudio (Fig. 3.3D;  $F_{3,57} = 5.18$ ,  $P < 0.0031$ ).

El nivel de oxígeno disuelto permaneció relativamente constante entre los meses (Fig. 3.3E;  $F_{3,57} = 0.4$ ,  $P = 0.75$ ), siendo mayor en las pozas que contenían renacuajos en comparación a las secciones del río sin larvas (Fig. 3.3E;  $F_{1,57} = 169.9$ ,  $P < 0.0001$ ). La interacción entre los meses y la presencia de renacuajos no fue significativa (Fig. 3.3E;  $F_{3,57} = 1.35$ ,  $P = 0.27$ ).

La salinidad mostró una mínima variación mensual (Fig. 3.3F;  $F_{3,57} = 7.85$ ,  $P = 0.0002$ ). Las secciones del río con renacuajos presentaron una salinidad significativamente menor en relación a las pozas sin larvas (Fig. 3.3F;  $F_{1,57} = 1260.7$ ,  $P < 0.0001$ ). La diferencia en la salinidad entre las pozas con y sin renacuajos fue mayor en Noviembre de 2007 y posteriormente se estabilizo de Diciembre de 2007 a Febrero de 2008 (Fig. 3.3F;  $F_{3,57} = 53.25$ ,  $P < 0.0001$ ).

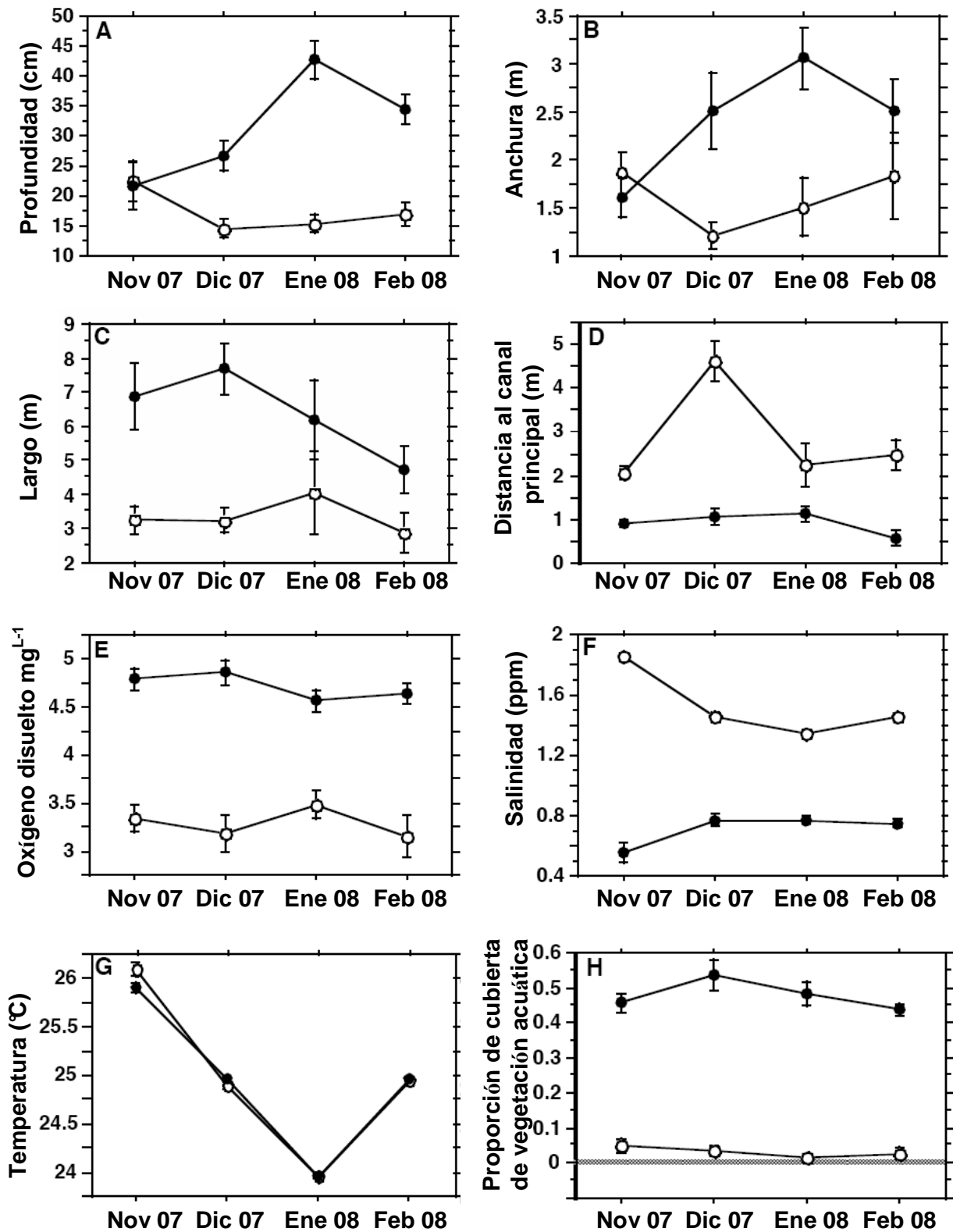


Figura 3.3. Características fisicoquímicas promedio de las secciones del Río Salado con (círculos negros) y sin (círculos blancos) renacuajos. Los promedios son dados  $\pm 1$  E. S.

Con respecto a la temperatura, ésta mostró una clara variación entre los meses, con un descenso marcado en Enero de 2008 (Fig. 3.3G;  $F_{3,57} = 942.3$ ,  $P < 0.0001$ ). No hubo diferencias significativas entre pozas con y sin renacuajos (Fig. 3.3G;  $F_{1,57} = 1.04$ ,  $P = 0.31$ ), mientras que la interacción entre los meses con la presencia de renacuajos sí fue significativa ( $F_{3,57} = 4.24$ ,  $P = 0.009$ ). Cabe mencionar que la diferencia en la temperatura es mínima (Fig. 3.3G).

Por último, la cantidad de vegetación acuática que cubría las diferentes pozas no varió de mes a mes (Fig. 3.3H;  $F_{3,57} = 1.56$ ,  $P = 0.21$ ). Los renacuajos fueron descubiertos en secciones del río que contenían más vegetación acuática que las pozas con poca o sin vegetación (Fig. 3.3H;  $F_{1,57} = 703.29$ ,  $P < 0.0001$ ). La interacción entre los meses y la presencia de larvas no fue significativa (Fig. 3.3H;  $F_{3,57} = 1.80$ ,  $P = 0.16$ ).

### 3.10. *Discusión*

El Río Salado y las pozas que se encuentran a lo largo de éste demuestran ser un claro sistema dinámico, tanto en términos de tamaño y profundidad de las diferentes secciones como en los aspectos físicos y químicos del agua. Dicho sistema probablemente influya sobre los anfibios y otros organismos que viven en el Río Salado (Woolrich-Piña *et al.*, 2010). De hecho, es notorio el cambio en la presencia de los renacuajos de *O. occidentalis* a través del año (ver Fig. 3.2). La dinámica de aparición de las larvas de *O. occidentalis* en el Río Salado es similar a las descritas para una población que habita en las cercanías del Río Zapotitlán (Canseco-Márquez *et al.*, 2003). Estos resultados sugieren que la distribución de los renacuajos de *O. occidentalis* está influida por las características del río.

De manera particular, parece que los factores relacionados a la permanencia y naturaleza química del agua, así como la presencia de la vegetación acuática son importantes. Se sugiere la importancia de la permanencia de agua debido a la diferencia significativa en la longitud, anchura, profundidad y superficie de las pozas que contenían renacuajos en relación a las secciones sin larvas, siendo las pozas con más agua (más anchas, largas y profundas) en las que se encontraron los organismos. Así, los renacuajos son localizados en secciones del río donde el agua probablemente persistirá por períodos largos de tiempo. De manera adicional, el hecho de que las larvas nunca fueran descubiertas en pozas localizadas fuera del canal principal del río, sugiere la importancia de la

permanencia de agua. En un ensamble de ranas que se reproducen en arroyos en Sulawesi, Indonesia, Gillespie *et al.*, (2004) descubrieron que las larvas de algunas especies eran observadas sólo en pozas ubicadas a lo largo del canal principal del arroyo, y que solamente una especie se distribuía en una sección que no estaba conectada directamente al canal principal. Sin embargo, la preferencia por las secciones más profundas puede variar de acuerdo a la especie, flujo de agua y cobertura de vegetación acuática, principalmente (Eterovick y Barata, 2006). En el caso del Río Salado, la permanencia de cualquier sección del río es variable, y así los renacuajos podrían preferir permanecer en cualquiera de las 181 pozas que pudieran ser más predecibles en su duración.

Por otra parte, se descubrió que las larvas de *O. occidentalis* estuvieron localizadas en secciones del río con salinidades más bajas en comparación a las pozas que no contenían renacuajos, las cuales presentaron casi el doble de salinidad. De tal forma, parece que las larvas usan pozas con determinadas características de salinidad. Para otras especies de anuros, se sabe que no prevalecen en cuerpos de agua con salinidades más elevadas de las observadas en el Río Salado (Davenport y Huat, 1997; Smith *et al.*, 2007), o evitan la ovoposición en aguas con éstas características químicas (Haramura, 2008). No obstante, la salinidad no parece afectar la distribución de algunos renacuajos, como los de *Buergeria japonica* (Haramura 2007), así como los de *Rhinella marina*, cuya abundancia incrementa con la salinidad en poblaciones introducidas a Puerto Rico (Ríos-López, 2008). Al parecer, algunas especies de bufónidos muestran adaptaciones locales a la salinidad, y son capaces de tolerar altos niveles durante el estadio larvario (Gómez-Mestre y Tejedo, 2003; Beebee, 1985).

En relación al oxígeno disuelto, los niveles fueron más altos en las pozas que contenían renacuajos con respecto a las secciones vacías. Éste patrón también fue observado en *Anaxyrus terrestris*, cuyas larvas habitan en pozas con niveles altos de oxígeno disuelto (Noland y Ultsch, 1981). El oxígeno disuelto parece ser importante en determinar la abundancia y riqueza de especies en estadio larval en pozas ubicadas a lo largo de la parte central del Río Paraná en Argentina (Peltzer y Lajmanovich, 2004).

Por otro lado, los renacuajos también usan secciones del río cuyos niveles de cobertura de vegetación acuática son altos. La mayor parte de ésta vegetación estuvo formada por algas. La relación renacuajos-presencia de cubierta de vegetación acuática pudiera reflejar una gran disponibilidad de alimento para las larvas. Alternativamente, la presencia de cobertura de vegetación

acuática pudiera reflejar simplemente una mejor calidad del agua (ej. salinidad más baja, alto contenido de oxígeno disuelto, mayor permanencia del cuerpo de agua, etc.). Dada la aparente importancia de la permanencia y química del agua en la determinación de la distribución de las larvas de *O. occidentalis* en el Río Salado, es de vital importancia para examinar las implicaciones potenciales de las salineras que se localizan a lo largo del río, incluyendo el área de estudio. Esas salineras vierten agua al Río Salado para producir sal por evaporación, potencializando en gran medida la alteración tanto de la cantidad como química del agua (particularmente la salinidad) del río. Tales alteraciones podrían tener impactos sobre los anfibios del Río Salado, tanto de manera directa a través de cambios en el nivel de agua y salinidad, como de manera indirecta por los efectos subletales de los cambios en la química del agua (Squires *et al.*, 2008). El impacto que pudiera tener la actividad salinera sobre el Río Salado no es claro. Sin embargo, cualquier incremento futuro en el número de salineras pudiera ser considerado de manera cuidadosa con vista al impacto potencial sobre la fauna nativa, incluidos los anfibios que habitan en el Río Salado.

### 3.10. Conclusiones

- Las dimensiones de cada sección del río son importantes en la distribución de los renacuajos, puesto que se encontraron en las pozas más largas, anchas y profundas.
- La permanencia temporal de los cuerpos de agua permite que las larvas completen su desarrollo.
- La salinidad y oxígeno son factores químicos que influyen de manera directa en la presencia de los renacuajos a lo largo de las diferentes secciones del río.
- La vegetación acuática es el factor biótico que se relaciona más con la distribución de las larvas en las diferentes pozas.
- Las charcas son los factores más importantes en la distribución de los renacuajos en éste hábitat; la presencia y el desarrollo de los renacuajos son determinadas por la actuación conjunta de estos y otros factores, que no operan de manera exclusiva o por separado, y que a su vez está determinado por las condiciones locales del hábitat.

## Capítulo 4.

### Renacuajos: tolerancia a la salinidad.

---

---

#### 4.1. Abstract

The tadpoles are influenced during its development by the environment. The abiotic and biotic factors play a determinant paper as resources or bounding conditions. In the wild, the salinity is a bounding factor for development of the amphibians larvae. This study examines the hypothesis in which different levels of salinity and density affect the performance of larvae of the toad of the pines *Ollotis occidentalis* and the frog *Hyla xera* that occur in the Río Salado, Puebla. The results indicate that while metamorphosis of *H. xera* is affected for the high levels of salinity and density, *O. occidentalis* is tolerant to the levels employed at this experiment. These studies of amphibians that inhabit in arid zones help to understand the relations of the organisms with its environment, the adjustments and strategies that they have developed to survive in a habitat like this, as well as for the elaboration of conservation plans and offers.

#### 4.2. Resumen

Las larvas de anuros son influenciadas durante su desarrollo por el ambiente. Los factores abióticos y bióticos juegan un papel determinante como recursos o como condiciones limitantes. En el medio natural la salinidad es un factor limitante para desarrollo de los anfibios. Este estudio examina la hipótesis en la cual distintos niveles de salinidad y densidad afectan el desempeño de larvas del sapo de los pinos *Ollotis occidentalis* y de la rana *Hyla xera* que habitan en el Río Salado, Puebla. Los resultados indican que mientras *H. xera* ve afectada su metamorfosis por los niveles de salinidad y densidad elevados, *O. occidentalis* es tolerante a los niveles trabajados en este experimento. Estos estudios de anuros que habitan zonas áridas ayudan a entender las relaciones de los organismos con su entorno, las adaptaciones y estrategias que han desarrollado para sobrevivir en un hábitat como este, así como para la elaboración de planes y propuestas de conservación.

### 4.3. Introducción

Las pozas asociadas a los ríos, suelen variar ampliamente en tamaño, hidroperiodo, química del agua y composición de especies, dónde estas últimas varían en su respuesta para muchas variables abióticas (Warner *et al.*, 1993). En algunos casos, la distribución de estos organismos en las charcas parece estar condicionada por los factores extrínsecos e intrínsecos (Eason y Fauth, 2001; Welch y MacMahon, 2005).

Muchas especies de anfibios parecen estar restringidos por limitantes bióticos y abióticos tales como la disponibilidad de alimento, temperatura, depredación y competencia, particularmente en los estadios larvarios (Dayton y Fitzgerald, 2001). Los factores abióticos no sólo limitan el posible hábitat donde una especie es encontrada, sino que también pueden determinar que tan viable es una población en algún hábitat (Alford, 1986; Alford y Harris, 1988; Warner *et al.*, 1993). Por lo tanto, la interacción del ambiente químico y físico con el ambiente biótico determina potencialmente el éxito de las larvas de anfibios, afectando así su distribución entre diferentes cuerpos de agua.

Los anfibios son encontrados usualmente en ambientes dulceacuícolas donde la retención de sal es de suma importancia, sin embargo se ha descubierto que algunas larvas de ranas y sapos pueden distribuirse en hábitats con amplios rangos de salinidad. Generalmente los anfibios son considerados incapaces de sobrevivir en condiciones de elevada salinidad (Ultsch *et al.*, 1999) aunque se sabe que algunas especies de anuros tienen una alta tolerancia a la salinidad, como *Limnonectes cancrivorus*, *Bufo calamita* y *Bufo bufo* (Christy y Dickman, 2002). Dentro de las especies que toleran concentraciones altas de sal, se les ha descubierto en los márgenes costeros en busca de alimento. Otros usan ambientes moderadamente salinos, mostrando adaptaciones fisiológicas como la producción de urea concentrada y altos niveles de cloruro de sodio en la sangre, principalmente (Katz, 1989; Markow, 1997; Gómez-Mestre y Tejedo, 2003).

Los anuros que habitan ambientes áridos y semiáridos sufren presiones específicas de diversas fuerzas selectivas (la desecación y el hidroperiodo de los cuerpos de agua, el periodo de lluvias, la temperatura, los depredadores y competidores, el pH, y la acción del hombre) que influyen de manera directa en su desarrollo larvario, y establecen la duración del tiempo disponible para el periodo o tiempo de metamorfosis (Zweifel, 1968).



En los ambientes desérticos, el éxito larvario depende de la longitud del periodo relacionado al hidrop periodo de las charcas, por lo que la longitud del periodo larvario pudiera estar bajo una fuerte selección de variabilidad y ser un indicador crítico de la adecuación larvaria (Parris, 2000).

Las charcas que se secan rápido son ambientes adversos para los anfibios, ya que la mortalidad de los renacuajos se incrementa, favoreciendo un corto periodo de desarrollo para los mismos. La duración de los periodos reproductivos (que incluye cortejos, cantos, amplexos, y puestas de huevos) va desde una noche en algunas especies hasta casi dos semanas en otras (Zweifel, 1968).

Por otra parte, observaciones de campo y experimentos de laboratorio que determinan tolerancias a la salinidad usan concentraciones equivalentes, a menudo partes por millón (ppm = g/L). La tabla 4.1 muestra las concentraciones salinas en ppm correspondientes a diferentes ambientes acuáticos.

Tabla 4.1

Salinidad (ppm)	Ambiente acuático
35	 Agua salobre
30	
25	
20	
15	
10	
5	
1	
0.5	
0.1	

#### 4.4. Antecedentes

##### *Densidad*

Uno de los precursores sobre trabajos que evalúan el efecto de la densidad en la sobrevivencia de los anuros fue Wilbur (1977a), quien observó que el estadio larval de *Bufo americanus* es independiente a la densidad poblacional. Posteriormente, Semlitsch y Caldwell (1982), encontraron que la sobrevivencia de las larvas de *Scaphiopus holbrookii* se vió afectada directamente por la densidad poblacional, además esta tiene un efecto significativo en los días y talla en la metamorfosis. Paralelamente, Wilbur (1982), al realizar un experimento de competencia entre larvas de hylidos, encontró que las poblaciones más densas tardan más tiempo en alcanzar la talla mínima durante la metamorfosis y esto aumenta el riesgo de mortandad por depredación o por desecación de los cuerpos de agua donde habitaban. En la década de los noventa, Newman (1994) examinó la respuesta de los renacuajos de *Scaphiopus couchii* hacia los cambios en los factores alimento y densidad poblacional, encontrando que cuando la densidad larval aumenta, los grupos sufren la metamorfosis antes que los grupos en donde se mantiene constante esta densidad. Actualmente, se han venido realizando trabajos donde se enfocan a comprender las respuestas evolutivas a la desecación de los cuerpos de agua (Richter-Boix *et al.*, 2004), así como aquellos trabajos que sugieren la existencia de mecanismos denso dependientes, diferentes a la competencia por alimento, que afectan la aptitud de las larvas (Dziminski, 2009).

##### *Salinidad*

Existen algunos trabajos realizados con anuros relacionados a la salinidad, los cuales se han enfocado en la distribución de los adultos (Christman, 1974; Rubial, 1959; 1962). Durante la década de los sesenta, Gordon (1962; 1965;) y sus colaboradores (Gordon *et al.*, 1961; Gordon y Tucker, 1965; 1968), describieron los mecanismos fisiológicos que permiten sobrevivir en un ambiente altamente salino a una especie de rana en el sureste de Asia. Por otra parte, Balinsky (1981) identificó 61 especies de anuros capaces de habitar o tolerar ambientes salobres.

Jennings y Scott (1993) mencionan que aunque algunos investigadores han usado la morfología larval de los anuros para investigar variados aspectos biológicos (adaptación, fisiología,

filogenia y ecología), puesto que las larvas son un recurso que ha sido usualmente ignorado. Actualmente, Hillman y colaboradores (2009) mencionan que hay especies *Anaxyrus viridis* y *Xenopus leavi* capaces de soportar salinidades entre las 20 y 25 ppm. Hoy día, debido a la sobreexplotación de los recursos naturales, hay áreas que pierden una superficie grande de cubierta vegetal (incluyendo las zonas áridas y semiáridas), lo cual puede repercutir en la calidad del ambiente que es habitado por diferentes especies, incluidos los anfibios. Para el caso del Valle de Zapotitlán Salinas esto no es la excepción, debido a que durante los últimos años se ha venido dando un proceso de fragmentación del hábitat, que, aunado a la producción de sal en algunas secciones del Río Salado, la composición química de esta puede estar cambiando, repercutiendo de manera directa en la tolerancia a las salinidad que pudieran tener los anfibios de esta zona, así como en las distribución de pozas asociadas al río cuyas características permitan la ocurrencia de los estadios larvales. Considerando los aspectos anteriores, la importancia de este trabajo radica en conocer cuales son los efectos de la salinidad en los renacuajos de las especies que se distribuyen a lo largo del Río Salado. Por está razón se plantean los siguientes objetivos:

#### **4.5. Objetivo General**

Comprender los efectos de la salinidad y la densidad poblacional en el desempeño de larvas del sapo *Ollotis occidentalis* y de la rana *Hyla xera* presentes en las pozas asociadas al Río Salado en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México.

#### **4.6. Objetivos particulares**

- Analizar la tolerancia a la salinidad de las larvas de *O. occidentalis* e *H. xera*.
- Evaluar la importancia de la densidad en el desempeño de las larvas del *O. occidentalis* e *H. xera*.

#### **4.7. Hipótesis**

Ho: El desarrollo larvario de *O. occidentalis* e *Hyla xera* se verá afectado por altos niveles de salinidad así como por la densidad.

#### **4.8. Material y método.**

##### *Trabajo de campo*

Las larvas y puestas utilizadas en el experimento fueron recolectadas a lo largo de las pozas asociadas al Río Salado durante la época reproductiva de las especies estudiadas (Oliver-López, 2006) durante 2008 y 2009.

En el sitio se registraron parámetros como la temperatura (°C), salinidad (ppm) y oxígeno disuelto (mg/l) con ayuda de un medidor de conductividad portátil marca Yellow Springs Instruments Modelo 85-10 FT.

##### *Laboratorio*

Las larvas de ambas especies se mantuvieron antes y durante el experimento en recipientes plásticos de 20 cm x 32 cm x 11 cm, con 2 litros de agua deionada, oxígeno constante y alimento ad libitum. Una vez alcanzado el estadio 26-27 (Gosner, 1960; Limbaugh y Volpe, 1957; Fig. 4.1), las larvas se integraron en grupos al azar y se colocaron en contenedores en distintas densidades y concentraciones salinas (tabla 4.2), considerando 3 replicas para cada tratamiento. Para las distintas concentraciones de salinidad se utilizó la sal de acuario InstanOcean®. La razón por la cual se utilizó sal marina en lugar de 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).

El cambio del agua y la limpieza se realizaron cada semana al igual que el registro de la longitud total (LT) y el peso (P). El Peso se midió usando una balanza semianalítica, la LT y la LHC (Longitud Hocico Cloaca) se midieron con una regla transparente, para facilitar la observación sobre una caja de petri, el procedimiento consistió en colocar al renacuajo en ángulo ascendente sobre la caja Petri y medirlo con la regla bajo ésta, la salinidad y los parámetros físicoquímicos se fueron registrando con la ayuda de un medidor de conductividad portátil YSI Modelo 85-10 FT.

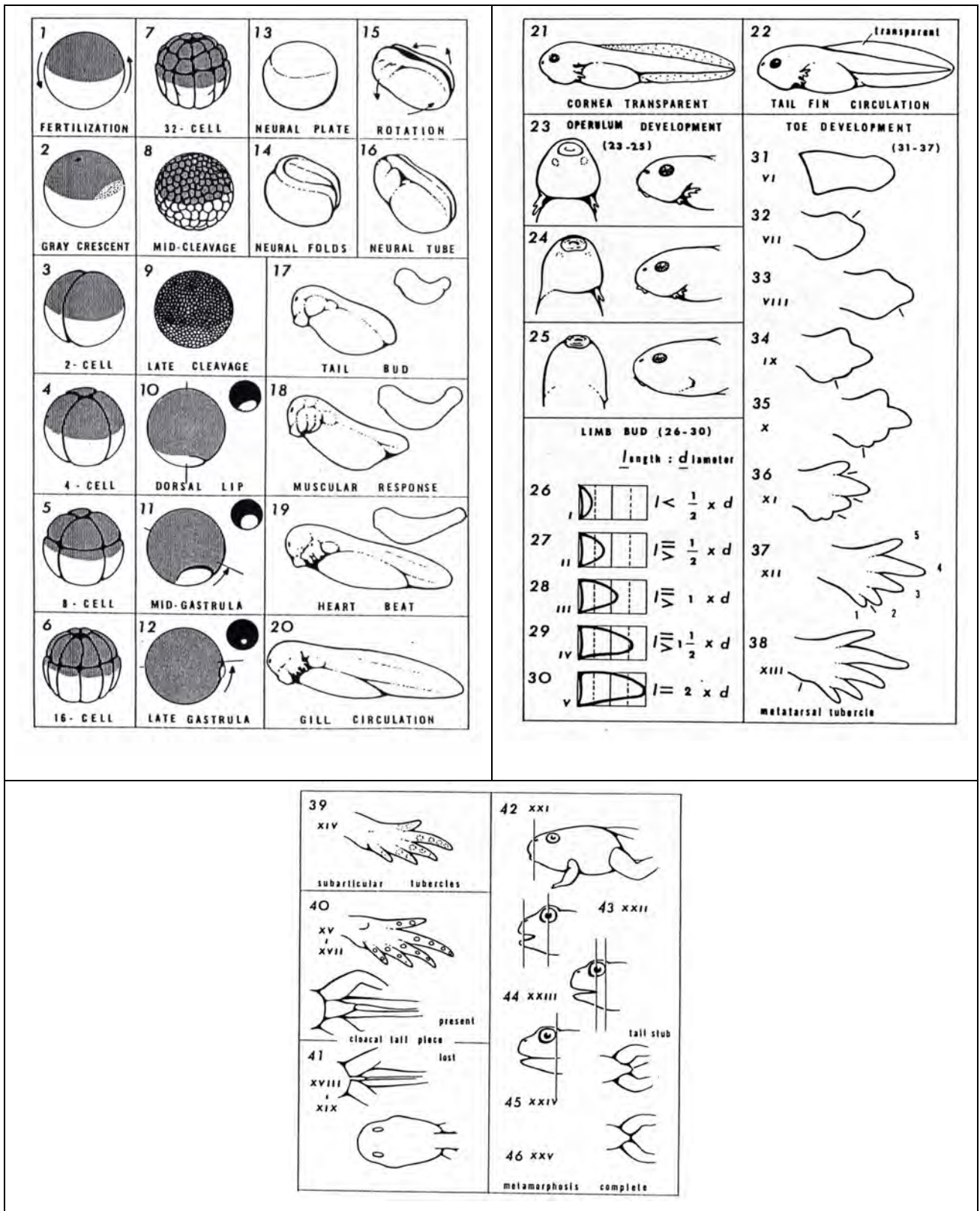


Figura 4.1. Estadios larvales de anuros.

Tabla 4.1

<b>Tratamiento</b>	<b>Salinidad (0 ppm)</b>	<b>Salinidad (0.4 ppm)</b>	<b>Salinidad (0.8 ppm)</b>
<b>Densidad 2</b>	2 Larvas / 0 ppm	2 Larvas / 0.4 ppm	2 Larvas / 0.8 ppm
<b>Densidad 4</b>	4 Larvas / 0 ppm	4 Larvas / 0.4 ppm	4 Larvas / 0.8 ppm
<b>Densidad 8</b>	8 Larvas / 0 ppm	8 Larvas / 0.4 ppm	8 Larvas / 0.8 ppm

### *Estadísticos*

Para determinar si se presentaron diferencias significativas debidas a las concentraciones salinas y las densidades, en los cambios de P, LHC y LT, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías (Sokal y Rohlf, 1995), posteriormente se aplicó una prueba (post hoc) de Dunn para conocer cual de los distintos tratamientos presentaba diferencias significativas.

**4.9. Resultados**

Un total de 124 larvas de *Hyla xera* y 135 de *Ollotis occidentalis* fueron distribuidas en los distintos tratamientos, todas entre el estadio 26 y 27 de acuerdo a Gosner (1960), midiendo entre 9 y 11 mm LHC. La temperatura del agua se mantuvo entre 23 °C y 24.2 °C en todas la unidades experimentales.

El tiempo a la metamorfosis para *Hyla xera* varió entre 11 y 18 días en condiciones de salinidad y densidad baja, de 55 a 81 días en salinidad alta y densidad baja, observándose diferencias significativas en el tiempo a la metamorfosis considerando las dos variables ( $F_{2,122} = 76.8, P < 0.01$ ; Fig. 4.2). Para el caso de *Ollotis occidentalis*, la metamorfosis en el tratamiento de salinidad y densidad baja fue alcanzada entre los 19 y 27 días, mientras que en salinidad alta con densidades medias y altas varió entre 28 y 63 días, presentando una diferencia significativa dicha duración ( $F_{2,133} = 69.4, P < 0.01$ ; Fig. 4.3).

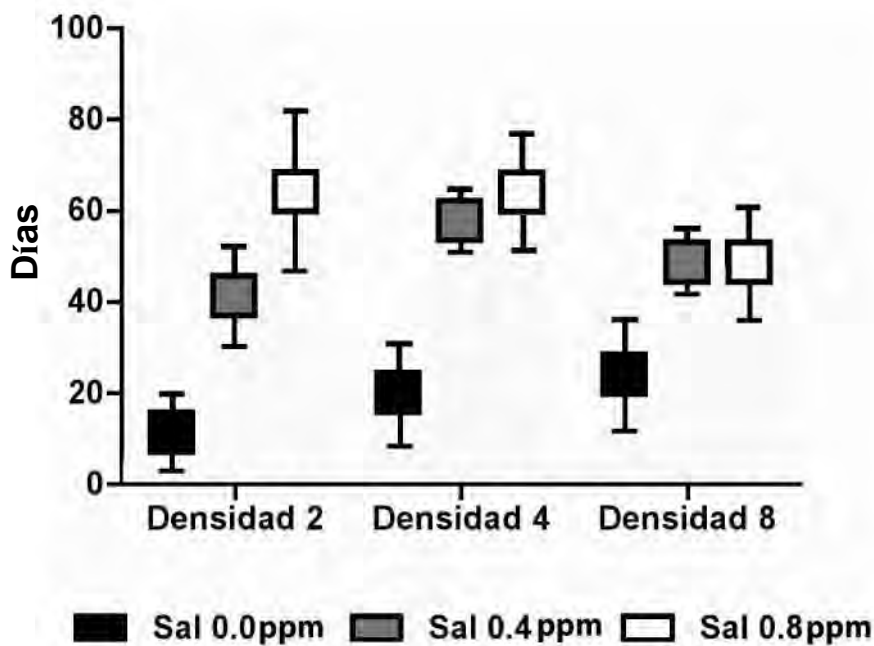


Figura 4.2. Días transcurridos a la metamorfosis en *Hyla xera*.

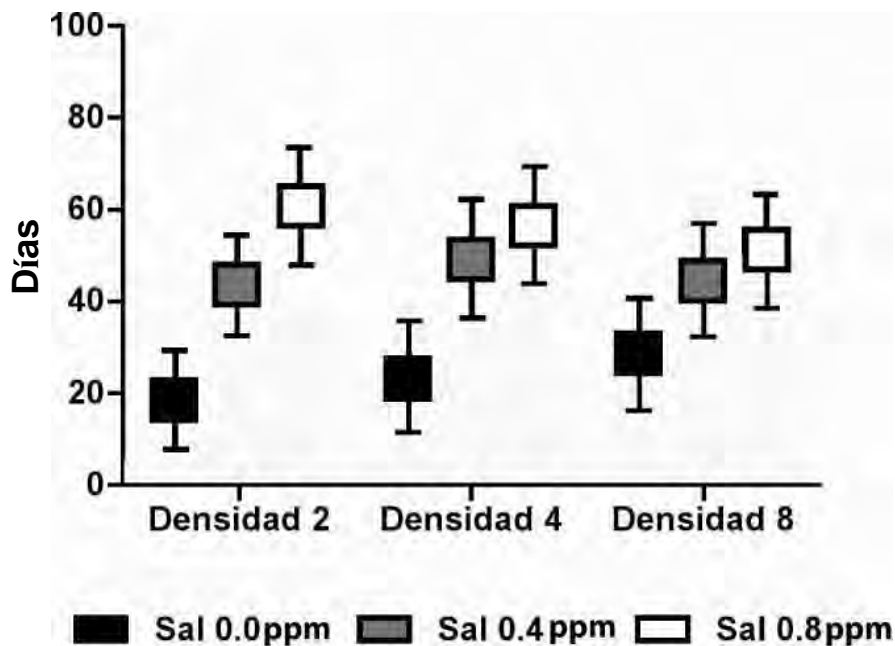


Figura 4.3. Días transcurridos a la metamorfosis en *Ollotis occidentalis*.

Para *Hyla xera*, la talla a la metamorfosis osciló entre los 12.7 y 13.5 mm LHC en salinidad y densidad alta, alcanzando entre 14 y 15 mm en salinidad y densidad baja. La LHC a la metamorfosis se vio afectada por los dos factores ( $F_{2,122} = 10.84$ ,  $P < 0.01$ ; Fig. 4.4). En el caso de *Ollotis occidentalis* la LHC a la metamorfosis varió de 10.5 a 17 mm en salinidad y densidad baja, así como entre los 11.7 y 16.5 en salinidad y densidad alta, no observándose diferencias significativas entre los tratamientos ( $F_{2,133} = 1.67$ ,  $P = 0.43$ ; Fig. 4.5).

La sobrevivencia para *Hyla xera* mostró un rango entre el 50 % y el 100 % en las unidades experimentales con densidad media y salinidad alta, hasta un 100% en las unidades bajo densidad y salinidad baja. Sin embargo, no se observó ninguna interacción significativa entre la salinidad y densidad en la sobrevivencia de las larvas ( $F_{2,122} = 1.81$ ,  $P > 0.05$ ; Fig. 4.6). En el caso de *Ollotis occidentalis* se observó un patrón similar, donde la sobrevivencia más alta se presentó a salinidades y densidades bajas. No obstante no hubo una diferencia significativa entre la interacción salinidad-densidad con la sobrevivencia ( $F_{2,133} = 1.43$ ,  $P = 0.68$ ; Fig. 4.7).



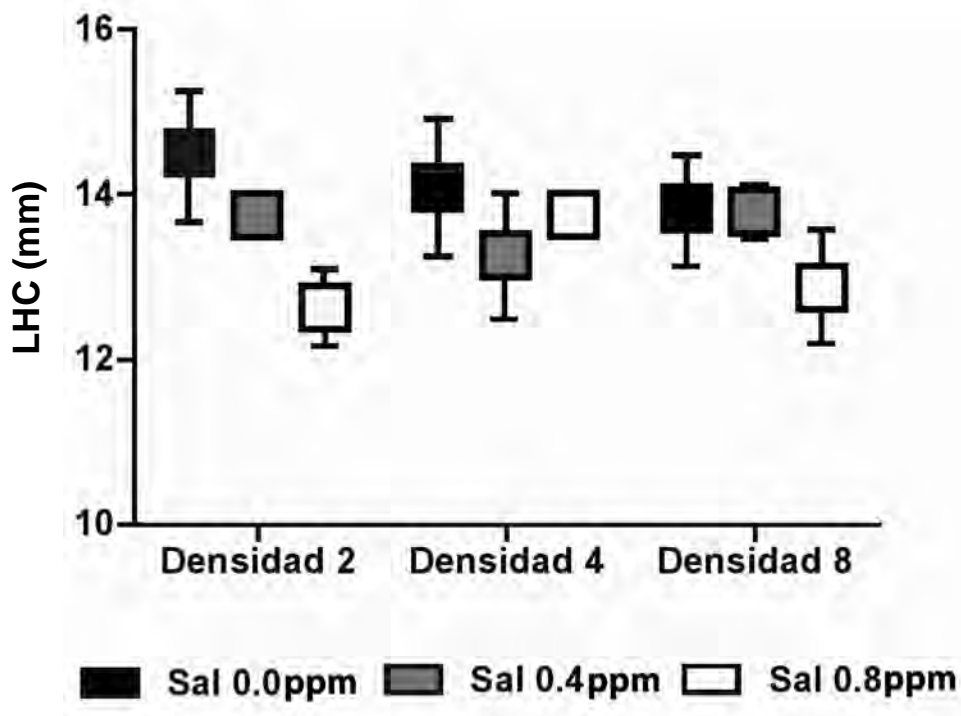


Figura 4.4. Talla a la metamorfosis en *Hyla xera*.

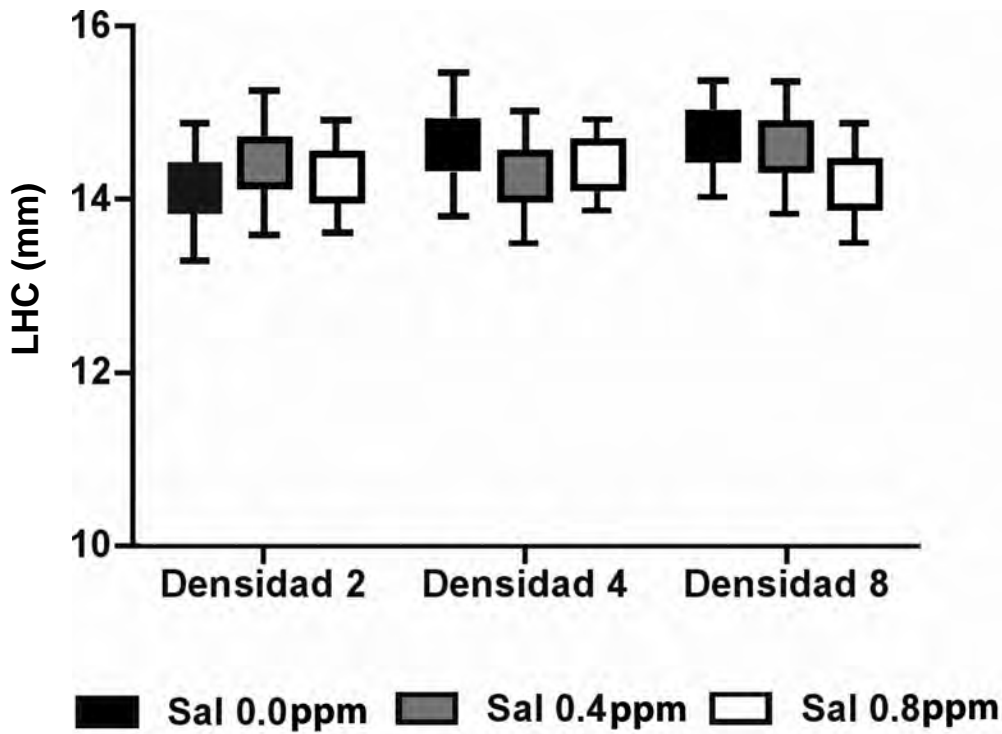


Figura 4.5. Talla a la metamorfosis en *Ollotis occidentalis*.

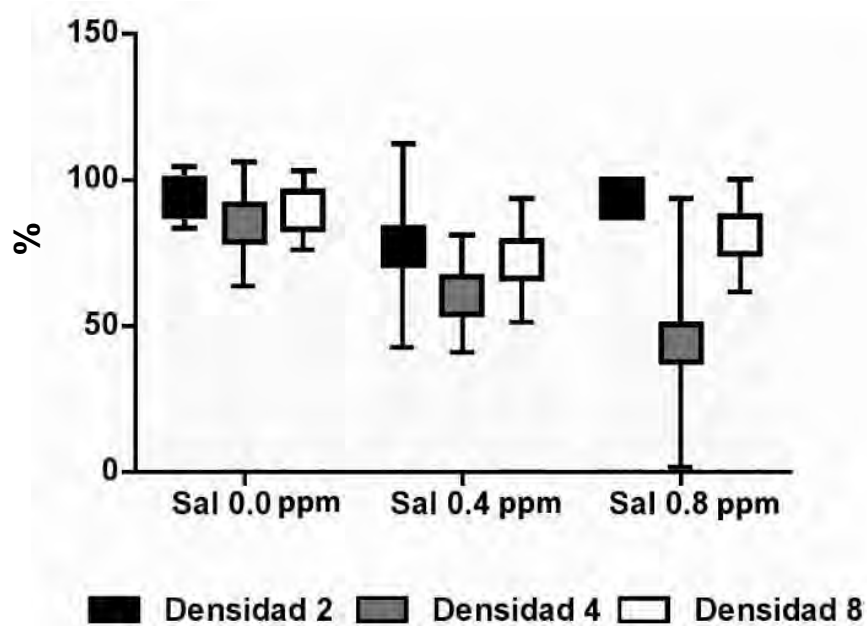


Figura 4.6. Sobrevivencia en *Hyla xera*.

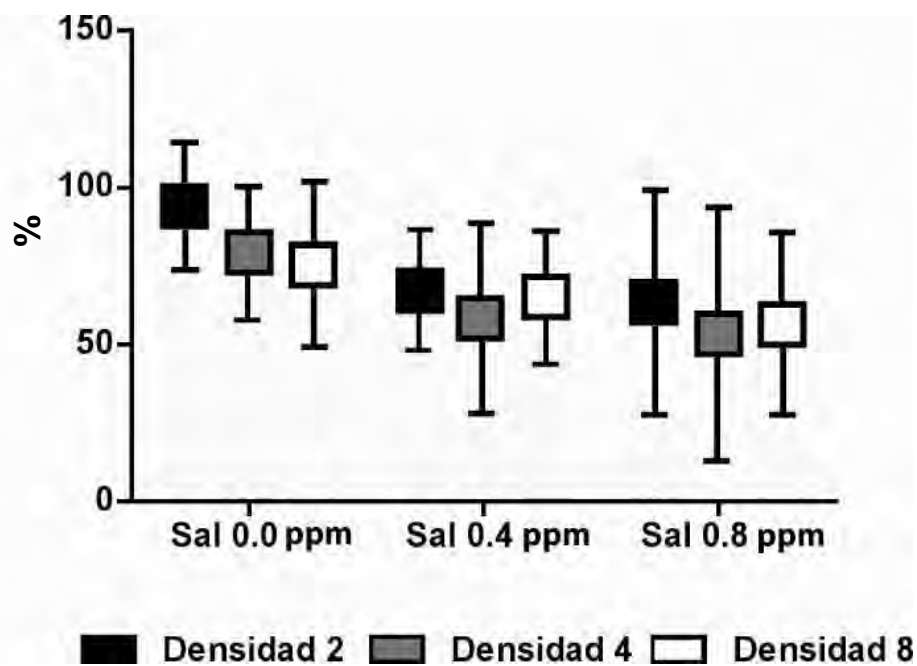


Figura 4.7. Sobrevivencia en *Ollotis occidentalis*.

#### 4.10. *Discusión*

##### *Densidad*

El estrés producido por la densidad poblacional tiene efectos negativos en el crecimiento, sobrevivencia y tiempo a la metamorfosis en larvas de anuros (Warren, 1969; Wilbur, 1976; Semlitsch, 1987; Semlitsch y Caldwell, 1982; Semlitch *et al.*, 1988; Morey y Reznick, 2001; Richter-Boix, 2004; Dziminski, 2009). No obstante, hay excepciones como la mostrada por el trabajo de Brown y colaboradores (2003) quienes reportan que las larvas de *Litoria aurea* a diferentes densidades no presentan efectos negativos en el tiempo a la metamorfosis ni en la sobrevivencia, sin embargo, observaron que el peso fue menor al incrementarse la densidad. Por otra parte, se ha observado que en ambientes altamente productivos se puede favorecer el crecimiento, donde el periodo de la fase larval es corto y se incrementa la talla a la metamorfosis (Travis, 1984). Para el caso del Valle de Zapotitlán Salinas es difícil observar estas condiciones debido a las características semiáridas de la zona.

Durante el desarrollo del trabajo de laboratorio se observó que las densidades no tuvieron un efecto importante en la talla ni en el periodo de la fase larval, pero si en la sobrevivencia, particularmente en las larvas con densidad media y salinidad alta. En las unidades con densidades altas, algunas larvas crecieron más rápido, las cuales sufrieron la metamorfosis durante un intervalo de tiempo más corto en comparación a las larvas que crecieron más lento. Se ha observado que en algunas larvas de anuros, la inhibición del crecimiento puede ocurrir por la presencia de parásitos (Richards, 1958), sustancias químicas (Akin, 1966) o por la escasez de recursos (Richter-Boix *et al.*, 2004). Esto puede influir en una serie de respuestas: por un lado, las larvas expuestas a una alta densidad, capaces de alcanzar rápidamente tallas más grandes que el resto de los individuos, pueden llevar a cabo la metamorfosis al alcanzar una talla mínima, escapando así al estrés por densidad. Por otro lado, el resto de las larvas pequeñas, en caso de sobrevivir, pueden experimentar condiciones favorables para crecer ya que la densidad efectiva ha disminuido. Estas últimas posiblemente presenten un desarrollo normal o incluso más rápido, realizando la metamorfosis a tallas similares a las alcanzadas por larvas expuestas a densidades bajas (Semlitsch y Caldwell, 1982).

Los resultados indican que la densidad poblacional por sí sola no presenta efectos significativos en las variables medidas. Sin embargo, esto no significa 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 en otros trabajos (McDiarmid y Altig, 1999). Por otra parte, la densidad en conjunto con la salinidad tuvo un efecto importante en el tiempo a la metamorfosis y la talla a la metamorfosis. Este mecanismo puede ser importante en vida silvestre, ya que al habitar en pozas temporales a densidades altas, les permitiría a algunos individuos alcanzar rápidamente la metamorfosis y aumentar sus probabilidades de sobrevivir, escapando de la desecación de la charca, así como de potenciales depredadores. En el caso del Río Salado, uno de los depredadores potenciales de las larvas de anuros, principalmente de *L. spectabilis* y *O. occidentalis* (observación personal) es el pez *Poeciliopsis fascista*, el cual puede tolerar los niveles de salinidad que se presentan en el río (ver capítulo 6).

El crecimiento y metamorfosis larval a baja densidad fue más rápido en relación a los otros niveles de densidad, esto probablemente se deba al efecto "Allee" en el cual el crecimiento es estimulado por las densidades bajas (Wilbur, 1977b). 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 mismo. Posiblemente estos individuos alcanzaron tasas óptimas de crecimiento debido a la abundancia de recursos, que al ser aprovechados les permitieron crecer y realizar la metamorfosis más rápido que el resto de las larvas. Esto es congruente con lo reportado por Wilbur (1976), en donde menciona que las larvas a densidades altas suelen retrasar su crecimiento, pero la metamorfosis es más rápida a tallas pequeñas.

Los anfibios presentan una variación considerable en la duración del periodo larval, la cual es una característica vital en las historias de vida de estos animales (Smith, 1987). Dicha 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). Esto último concuerda con lo observado en las larvas que habitan las pozas asociadas al Río Salado, donde su desarrollo está relacionado con la presencia permanente de agua (Woolrich-Piña *et al.*, 2005).

### *Salinidad*

Las larvas que se mantuvieron bajo salinidad media (0.4 ppm) y alta (0.8 ppm) llevaron a cabo la metamorfosis a tallas menores que las larvas mantenidas a salinidades bajas (0.0 ppm), estas tallas menores han sido relacionadas a una menor sobrevivencia y a una correlación positiva entre talla a la metamorfosis y aptitud. No obstante, una abundancia de alimento puede disminuir estas diferencias puesto que los individuos con menor talla pueden ser más fácilmente depredados ya que la habilidad locomotora en anuros juveniles es dependiente del tamaño (Morey y Reznick, 2001). Se ha sugerido que la sobrevivencia puede incrementarse en juveniles grandes poco tiempo después de haber sufrido la metamorfosis 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 más grandes es la reserva de lípidos, que bajo condiciones de hambruna inducida en laboratorio, las larvas de tallas mayores, provenientes de bajas densidades, pueden sobrevivir una mayor cantidad de tiempo que larvas más pequeñas, provenientes de altas densidades (Scott, 1994). Esto es importante durante los estadios terrestres que habitan en algunas zonas áridas debido a que en la temporada de estiaje, la disponibilidad de recursos es baja. En estas condiciones, individuos con altas reservas de grasa 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 ambas especies, 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, donde 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 hammondi* 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).

El efecto de la salinidad ha sido tema de estudios en el que se menciona que la selección de los sitios de puesta de anuros, está fuertemente influenciado por los niveles de ésta, por ejemplo *Buergeria japonica* ve disminuida su sobrevivencia drásticamente al incrementar las concentraciones salinas (Haramura, 2008). La naturaleza del hábitat y su carácter dinámico, indica que este tipo de factores puede afectar la distribución de las especies de animales, sobre todo de los anuros (Marsh y Borrell, 2001).

En cuanto al efecto de la salinidad desde las primeras etapas del desarrollo en anuros, estudios anteriores se han enfocado en la tolerancia que presentan otras especies como los *Rana cancrivora* y *Bufo calamita*, concluyendo una tolerancia de las puestas a concentraciones de 1 % (Beebee, 1985; Uchiyama *et al.*, 1990), pero suele variar, en *Bufo japonica* alcanza 2 % (Haramura, 2004).

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 hílido *Litoria edwingii*, en donde las larvas expuesta a una salinidad de 5.6 ppm realizó la metamorfosis tiempo después que las larvas expuestas a concentraciones de 1.4 y 4.2 ppm. 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 la metamorfosis (Christy y Dickman, 2002). Asimismo, se ha observado que algunas especies pueden tolerar niveles letales de salinidad por periodos cortos de tiempo. Esto puede tener ventajas, como un descenso en la cantidad de depredadores (Beebee, 1985) o reducir la competencia interespecífica debido a que estas especies no puedan 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 trabajo no se observaron diferencias en la sobrevivencia a causa de la salinidad, esto contrasta con los resultados de algunos investigadores (Rios-Lopez, 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 ppm) tuvieron una sobrevivencia de apenas el 39%. La concentración más alta utilizada (0.8 ppm) no provocó un efecto letal o subletal, las otras dos concentraciones (0.0 – 0.4 ppm) reflejaron las observadas en las pozas donde se desarrollan las larvas tanto de *Ollotis occidentalis* como de *Hyla xera*, por lo que en estas no se esperaba dicho efecto. Es posible que los niveles letales para las larvas de estas especies sean similares a los encontrados en la zona baja de la cuenca (Fig. 4.8, anexo 3), lo cual podría explicar en gran medida la ausencia de larvas en esa zona.

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 ppm) y 60% de sobrevivencia en 80% de agua marina (28 ppm) 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 ppm) pero una vez duplicadas estas concentraciones, esto es al 10% de agua marina (3.5 ppm), 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 0.8 ppm suficientes para aumentar el periodo larval considerablemente, además de disminuir el tamaño a la metamorfosis.

Las salinidades manejadas en el desarrollo del experimento, también son toleradas por *Ollotis occidentalis* en su medio natural, trabajos como este ayudan a tener una idea de los efectos que tienen las actividades humanas en el deterioro de los ecosistemas acuáticos.

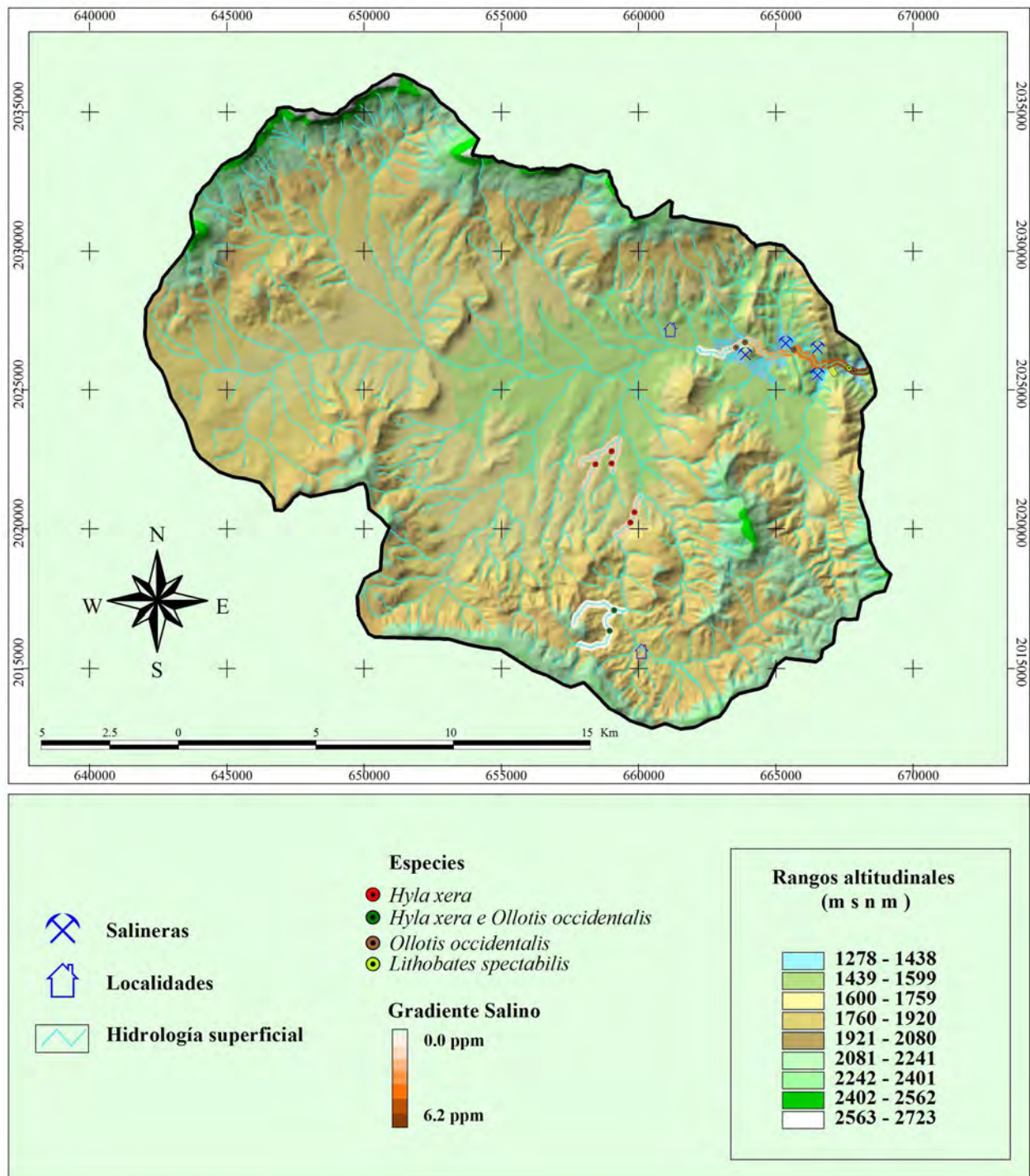


Figura 4.8. Distribución de larvas y gradiente salino en el Río Salado..



### Conservación

La distribución espacial del ensamble de renacuajos posiblemente se limite 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, es posible que la distribución de las larvas de ambas especies se encuentre limitada en las micro cuencas de las zonas altas, en donde no se forman pozas salinas producto del arrastre de sedimentos calizos (ver capítulo 2). En gran parte de estos lugares son suelos rocosos donde las charcas temporales que se forman son de agua dulce (0.0 – 0.4 ppm). Por otro lado, las larvas de *Ollotis occidentalis* y *Litobathes spectabilis* se distribuyen en la parte baja de la cuenca. En esta zona los niveles de salinidad aumentan de manera gradual desde 0.5 ppm en las cercanías de Zapotitlán Salinas hasta alcanzar los 6.2 ppm cerca de San Gabriel Chilac. Esta última concentración es mayor a las zonas que presentaron larvas de *Ollotis occidentalis* (Barbosa Morales, 2008; Aquino-Caballero, 2010) e *H. xera* (Hernández-Ríos, 2010; Fig. 4.8; anexo 2). De acuerdo a los resultados experimentales, esto pudiese estar limitando fuertemente la distribución de las dos especies dentro del valle, ya que niveles de 0.8 ppm 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 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 destacado la relación entre distribución y niveles de salinidad. Ruibal (1959) estudió varias poblaciones de *Rana pipiens* en el desierto de California y encontró que la población más abundante se encuentra en zonas con niveles de salinidad de entre 1.75 y 3 ppm, esto es congruente con sus experimentos, en donde indica que la concentración máxima letal para estos es de 5 ppm (aunque considera semiletales a las concentraciones de 3.8 a 4.6 ppm). Asimismo, encuentra adultos 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 ppm.

Las 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 pronéfricos 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).

La concentración salina que presenta el río se debe al arrastre de sedimentos ricos en carbonatos provenientes de las zonas altas de las diferentes subcuencas que conforman el Valle de Zapotitlán, donde predominan rocas calizas. Paralelamente, éste efecto de salinización también se pueda deber a las aguas superficiales provenientes de las salineras que se distribuyen a lo largo de la parte baja del río. No se sabe con certidumbre si este último factor este involucrado en la distribución de las larvas actualmente, lo que es un hecho es que durante los últimos doce años se ha visto una disminución en el rango de distribución y abundancia de los anuros dentro del valle. A finales de la década de los noventa era común observar larvas de las cuatro especies que ocurren en el Río Salado a lo largo de las pozas que se asocian a éste (Canseco-Márquez *et al.*, 2003; observación personal) y en los últimos cuatro años hay una evidente disminución de éstos. Las posibles explicaciones a este fenómeno pueden ser: 1) las represas que se han construido a lo largo de los distintos tributarios al río salado pudiesen estar disminuyendo la cantidad de agua, 2) la concentración salina posiblemente impacte la fase larvaria de estas especies.

En estudios futuros es necesario considerar el efecto de distintos factores como la competencia intra e interespecífica, depredación, entre otras para visualizar un aproximación a la realidad que permita una toma de decisiones adecuada para la conservación de estas especies, así como para planear futuros proyectos en distintas zonas áridas y semiáridas de nuestro país.

#### 4.11. Conclusiones

- Las Concentraciones altas de salinidad aumentan el periodo de desarrollo larval y disminuyen el tamaño a la metamorfosis en larvas de *Ollotis occidentalis* e *Hyla xera*.
- La densidad y salinidad no afectan el desempeño de las larvas de estas especies.
- 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.
- La interacción de la salinidad y densidad poblacional, no influye en el desempeño de las larvas de *O. occidentalis* significativamente.
- 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*.

## Capítulo 5.

### Repartición de recursos del ensamble de anuros adultos que habitan el Río Salado.

---

---

#### 5.1. Abstract

The distributions of time (estacionalidad and hourly), space and food determine the way in which the organisms can adapt to their environment, occupying several ecological niches. Commonly niches overlap only partially, with some resources shared and some resources used exclusively by each of the different species. The majority of studies on amphibians examine resource use and reproduction. This chapter seeks to determine the distribution of resources (food, space and time) within the assemblage of anurans that occur in the Río Salado. The highest diet overlap was between *Lithobates spectabilis* and *Ollotis occidentalis*, since both species are in the same localities. *L. spectabilis* fed on juvenile of *O. occidentalis* and *L. spectabilis*. Rocky substrates, plants, shrubs, pools, and rocks with grass are the principal microhabitats used by the amphibians. The times of appearance of these species is regulated by the rains, from November to March approximately. Marked overlap in resource use does not exist among the four species examined.

#### 5.2. Resumen

Las distribuciones de tiempo (estacionalidad y horario), espacio y alimento determinan la manera en que el organismo puede adaptarse a su ambiente, ocupando varios nichos ecológicos. La mayoría de los estudios realizados en anuros son sobre alimentación y reproducción. Es por ello que el objetivo del trabajo contenido en este capítulo fue determinar la repartición de recursos (alimento, espacio y tiempo) entre el ensamble de anuros que habitan el Río Salado en el Valle de Zapotitlán Salinas. El mayor traslape del recurso alimento se presentó entre *Lithobates spectabilis* y *Ollotis occidentalis*, ya que ambas especies se encuentran en las mismas localidades. *L. spectabilis* presenta depredación sobre juveniles de *O. occidentalis* y canibalismo. El sustrato rocoso, las plantas, arbustos, charcas, corriente, río y rocas con hierba son los principales microhabitats usados por los anuros. Los tiempos de aparición de estas especies está regulado por las lluvias, de noviembre a marzo aproximadamente. No existe una marcada sobreposición de los recursos entre las cuatro especies.

### 5.3. *Introducción*

Las distribuciones de tiempo, espacio y alimento determinan la manera en que un organismo puede adaptarse a su ambiente (Pianka, 1973). La densidad poblacional es factor biótico que influye en la disponibilidad de los recursos, como el espacio y alimento que a su vez determinan la sobrevivencia de las especies (Molina *et al.*, 2005).

El área o volumen sobre el que un organismo vaga durante el curso de sus movimientos diarios y en la cual pasa la mayor parte de su tiempo es el área de influencia del animal. A menudo las áreas de influencia de varios individuos se sobreponen, las cuales pueden no defenderse y no significan la exclusión de otros animales. En contraste, otros territorios se defienden y son utilizados exclusivamente por un individuo, una pareja, o un grupo pequeño de individuos resultantes de un cruce endogámico. Los territorios no sobrepuestos usualmente dan lugar a sistemas de dispersión uniforme e indican la existencia de competencia por algún recurso poco abundante. La sobreposición de nichos se produce cuando dos individuos utilizan los mismos recursos u otras variables ambientales (Pianka, 1986). Comúnmente los nichos se sobreponen sólo parcialmente, siendo algunos recursos compartidos y otros usados exclusivamente por cada una de diferentes unidades orgánicas. Una modificación drástica y fundamental del cuerpo del animal en la metamorfosis permite un desplazamiento notable de los nichos (Pianka, 1986).

Los organismos pueden estar distribuidos de dos maneras extremas: formando grupos (distribución en grupos) o dispersos uniformemente (distribución espacial uniforme). La distribución intermedia entre estos dos extremos es la distribución espacial al azar (Ancona *et al.*, 2004). La mayor parte de los hábitats están formados por un mosaico espacio-temporal de muchos elementos distintos, la situación exacta de un individuo es a menudo un factor determinante básico de su eficacia (Lomolino *et al.*, 2006). Algunos animales utilizan varios microhábitats para distintas finalidades y/o en distintitos tiempos del día, las relaciones entre la eficacia biológica y el uso del espacio son normalmente muy complejos (Pianka, 1986).

Con respecto al alimento, éste en general no es defendible, puesto que la mayor parte de los animales ingieren sus presas tan pronto como las encuentran. Pero el espacio en el cuál se encuentran estas presas a menudo puede defenderse con bastante firmeza (Shine y Wall, 2007). Los

estudios sobre la dieta de las especies, son importantes para comprender las relaciones tróficas de las comunidades y proporcionar información sobre la dinámica evolutiva de los sistemas biológicos. Ésta puede variar de una estación a otra y de un año a otro en la misma localidad. Esta variación refleja la dinámica de las comunidades naturales (Chávez-Osorio y Castro-Franco, 2005).

La dieta de los organismos representa obtención de energía para sobrevivir. El alimento que los organismos obtienen del ambiente es la energía que usan para el crecimiento, reparación de tejidos y reproducción. Los estudios alimentarios deben basarse fundamentalmente en el análisis cuantitativo y la disponibilidad en el medio, debido a que permite comprender las condiciones del ambiente que rodea a los organismos (Pérez y Altamirano-Álvarez, 2005).

Los anuros son considerados insectívoros oportunistas, observándose cierta variación en la dieta dependiendo de la especie, de la fauna local de insectos, otros artrópodos y de la disponibilidad y abundancia de las presas (Barrios-Damián y Melgoza, 2005). Los anfibios adultos son todos carnívoros y se alimentan principalmente de gusanos, crustáceos, arañas e insectos. Las especies más grandes, sin embargo, suelen también atrapar pequeños reptiles, otros anfibios e incluso pequeños mamíferos. El tipo y cantidad de alimento consumido a diario está relacionado con la fase vital y los hábitos de cada especie, manteniendo pautas de alimentación más moderadas y mostrando una cierta contención incluso cuando es difícil acceder a la presa. En regiones donde existe una marcada diferencia climática estacional, son capaces de permanecer en situación latente, alimentándose exclusivamente de la energía acumulada en épocas de máxima actividad (Capula, 1990).

El tamaño y tipo de presa está relacionada con el modo de forrajeo. En general las especies con forrajeo activo comen presas pequeñas que se encuentran en agregaciones; aquellas de movimiento lento, con forrajeo de asecho comen presas de tamaño grande y son normalmente solitarias. La teoría del forrajeo óptimo está basada en la suposición que los depredadores ajustan su comportamiento de forrajeo a la disponibilidad relativa del cambio de tipos de presa, tales que ellos siempre maximizan la energía alcanzada durante el tiempo de forrajeo gastado (Lima y Magnusson, 2000).

El entendimiento de las relaciones alimenticias en comunidades de anfibios es de fundamental interés porque debido al rol principal que estos pueden jugar en los ecosistemas acuáticos, muchas

especies ocupan una posición intermedia en cadenas alimenticias, siendo depredadores importantes de invertebrados y presas importantes para vertebrados más grandes (Hirai y Matsui, 1999).

Los efectos ambientales como la precipitación pueden influir en la dieta de algunas especies, mediante la regulación de la abundancia y diversidad de recursos alimenticios, especialmente en ambientes de marcada estacionalidad (Gadsden y Palacios-Orona, 1997; Gadsden *et al.*, 2001).

#### **5.4. Antecedentes**

##### *Alimentación*

La mayoría de los trabajos realizados sobre reparto de recursos se han llevado a cabo con especies tropicales, donde se ha observado que difieren en cuanto al tiempo de actividad empleado para la alimentación (Wells, 2007). Por ejemplo, (Caldwell, 1973) examinó tres aspectos que se interrelacionan con el ensamble de especies: talla corporal, reproducción y uso estructural del hábitat. Por otra parte, se ha observado que algunas ranas dendrobatidas se alimentan al amanecer o al atardecer, mientras que otras especies lo hacen a través del día (Miyamoto, 1982; Stewart, 1985; Duellman, 1990; Parmelee, 1999). Se tienen registros que en Centro y Sudamérica, bufónidos, microhílicos y dendrobatidos tienden a presentar una alimentación especialista (Toft, 1980a; 1980b; 1981; Lieberman, 1986; Jaeger *et al.*, 1976; Jaeger y Hailman, 1981). En otros trabajos, se ha observado que algunas especies de *Eleutherodactylus* se ocultan en el mantillo durante el día y por la noche se alimentan sobre la vegetación).

Hay estudios que indican la presencia de factores que pueden reducir la competencia entre las diferentes especies de anuros, los cuales pueden ser diferencias en la selección del microhábitat, historias de vida, desfase en la reproducción, así como en la forma y tiempo de alimentarse (Fraser, 1976; Sites, 1978; Roth, 1987). Christian (1982) observó que en la rana *Pseudacris triseriata* el tamaño de presa incrementaba con el tamaño de las ranas. No obstante, los organismos de tallas grandes no necesariamente se alimentan de presas grandes (Lynch, 1985).

### *Espacio-Tiempo*

De manera general, los estudios sobre el reparto de recursos en anuros es prácticamente nulo. Entre las investigaciones relacionadas con este tema destacan aquellas que mencionan los factores involucrados en la separación espacial, la cual se da principalmente en los machos durante la temporada reproductiva, tiempo en el cual se han registrado una serie de vocalizaciones de advertencia a otros machos o llamado de pareja (Robertson, 1986; Ovaska y Hunte, 1992).

Considerando la problemática que estos organismos enfrentan actualmente como resultado de factores antropogénicos (deforestación, cambio de uso de suelo, contaminación, urbanización y deterioro ambiental), hacen que sean más susceptibles a desaparecer. Tomando en cuenta que en el Valle de Zapotitlán Salinas hay especies endémicas, es necesario estudiar y analizar como influye la repartición de los recursos tiempo, espacio y alimento, en la distribución del ensamble de anuros adultos. Es por ésta razón que se plantean los siguientes objetivos:

#### **5.5. Objetivo General**

Determinar la repartición de recursos entre cuatro especies de anuros adultos (*Hyla arenicolor*, *Hyla xera*, *Lithobates spectabilis* y *Ollotis occidentalis*) que habitan en el Valle de Zapotitlán Salinas.

#### **5.6. Objetivos particulares**

- Evaluar la repartición del recurso alimento en el ensamble de anuros.
- Determinar la repartición del recurso espacio.
- Determinar la repartición del recurso tiempo.
- Comparar cómo se reparten los recursos entre estas cuatro especies de anuros.



### **5.7. Hipótesis**

Ho: Debido a la diferencia en tallas, el ensamble de anuros no presentará un traslape en las presas consumidas. Sin embargo, al estar sujetas al recurso hídrico, la sobreposición del microhábitat utilizado y tiempo de actividad será alta.

### **5.8. Material y método.**

#### *Uso de recursos*

#### *Alimento*

Los muestreos para la recolección de anuros se realizaron entre las 1900 y las 0100 a lo largo de río, buscando entre y debajo de rocas, vegetación acuática y sobre la corriente principal. Posteriormente fueron preservados en formol al 10 % y después en alcohol al 70 %. Se examinó el contenido estomacal para poder evaluar el recurso alimento, llevando a cabo el análisis taxonómico de las presas. El contenido fue identificado a nivel de orden, familia y en algunos casos hasta género (Borror and White, 1970; Bland y Jaques, 1978; Domínguez, 1997, 1998). Posteriormente se realizó un análisis de sobreposición utilizando el índice de Pianka (1975).

#### *Presas disponibles*

Para obtener presas disponibles se trazaron cuadrantes diurnos y nocturnos de 1 m<sup>2</sup>, donde se observó actividad de los anfibios, principalmente en microhábitats tales como rocas ubicadas en la orilla del río, entre la vegetación acuática, y pequeños islotes de grava, principalmente. Se colocaron en un frasco con alcohol al 70% todos los artrópodos e invertebrados que se encontraron, para su posterior identificación en el laboratorio, mediante el uso de un microscopio estereoscópico y claves de identificación (Borror and White, 1970; Bland y Jaques, 1978; Domínguez, 1997, 1998).

*Espacio-Tiempo*

Para evaluar el uso de estos recursos se registró cada microhábitat ocupado por las cuatro especies de anuros estudiadas, así como también el tiempo de actividad. Con los datos de alimento, espacio y tiempo se aplicó el índice de sobreposición de recursos (Pianka, 1975).

Sobreposición:

$$O_{jk} = \frac{(\sum P_{ij}P_{ik})}{\left(\sqrt{\sum P_{ij}^2 \sum P_{ik}^2}\right)}$$

Donde:

$O_{jk}$  = Sobreposición en una de las dimensiones del nicho (espacio o tiempo) entre la especie  $j$  y la especie  $k$

$P_{ij}$  = Valor de importancia del espectro  $i$  para la especie  $j$

$P_{ik}$  = Valor de importancia del espectro  $i$  para la especie  $k$

**5.9. Resultados***Alimento*

Se analizó el contenido estomacal de 238 organismos de las cuatro especies. Este recurso estuvo comprendido por 11 ordenes de insectos, 4 ordenes de la Clase Arachnida, larvas no identificadas, insectos no determinados y papilla estomacal. Para *Hyla arenicolor* el Orden Homóptera: Cicadellidae fue el más sobresaliente, seguido por Hemíptera: Gerridae e Hymenoptera: Formicidae: *Pheidole* y *Lasius* (Fig. 5.1).

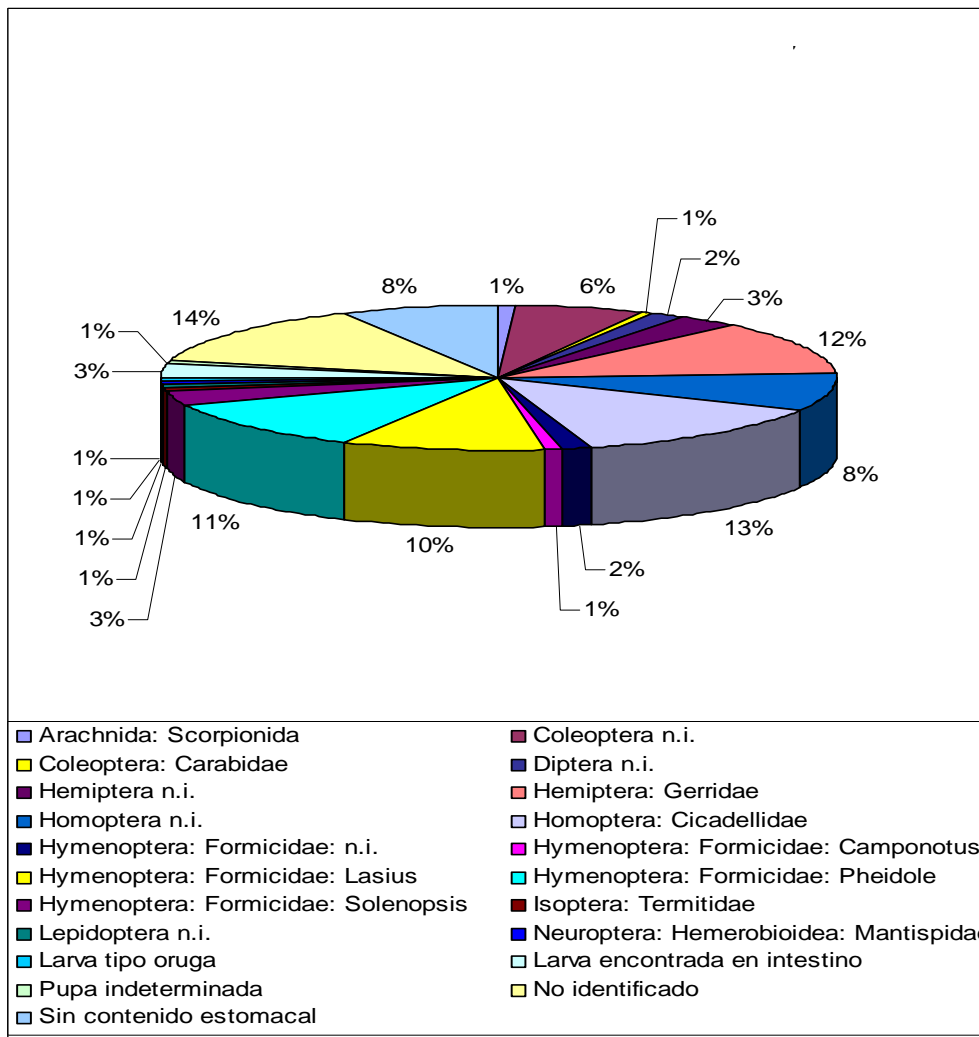


Figura 5.1. Contenido estomacal de *Hyla arenicolor*.

La mayoría de los estómagos revisados de *Hyla xera* se encontraron vacíos, seguidos de la presencia de Coleópteros no identificados e Hymenoptera: Formicidae: *Solenopsis* que fueron los más destacados (Fig. 5.2).

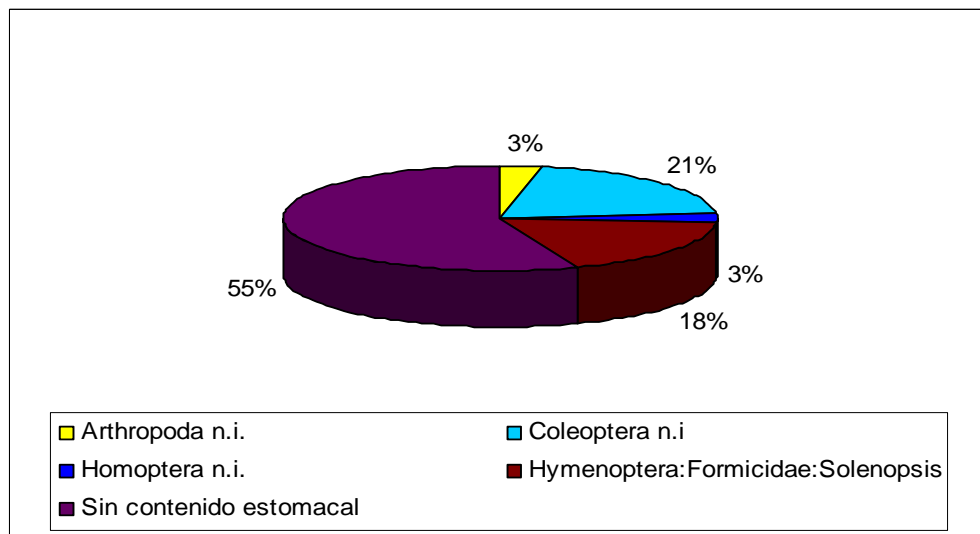


Figura 5.2. Contenido estomacal de *Hyla xera*.

Para el caso de *Lithobates spectabilis* se encontró la presencia de Hemiptera: Gerridae, larvas tubulares no identificadas, gran cantidad de Isoptera: Termitidae y Coleópteros, y en menor proporción Dípteros, Homópteros e Himenópteros. Se destaca la presencia de restos de *Ollotis occidentalis* y de *Lithobates spectabilis* (Fig. 5.3), lo que indica canibalismo del que antes ya se ha registrado en la especie.

En *Ollotis occidentalis* sobresale la presencia del género Termitidae, aunque existe la presencia de otros ordenes como el de Hymenoptera: Formicidae y Coleóptera no identificados (Fig. 5.4). Las cuatro especies presentaron diferentes familias y géneros de presas, pero debido a que su cantidad fue mínima no sobresalen dentro de las gráficas. Sin embargo fueron tomadas en cuenta todas las presas consumidas para poder obtener la sobreposición de este recurso (tabla 5.1).

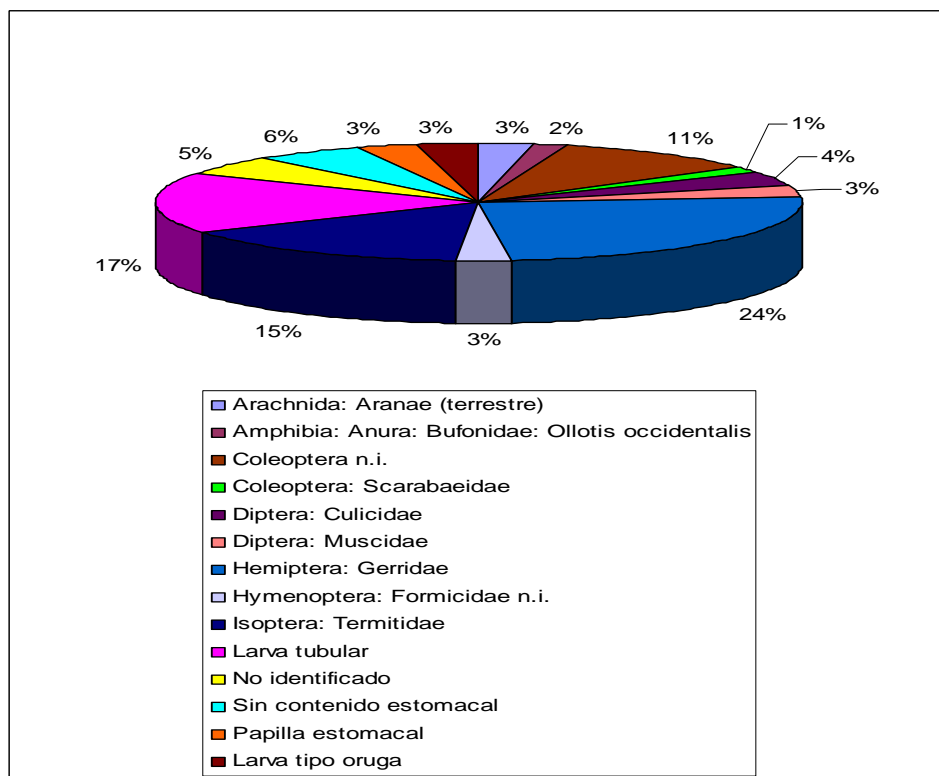


Figura 5.3. Contenido estomacal de *Lithobates spectabilis*.

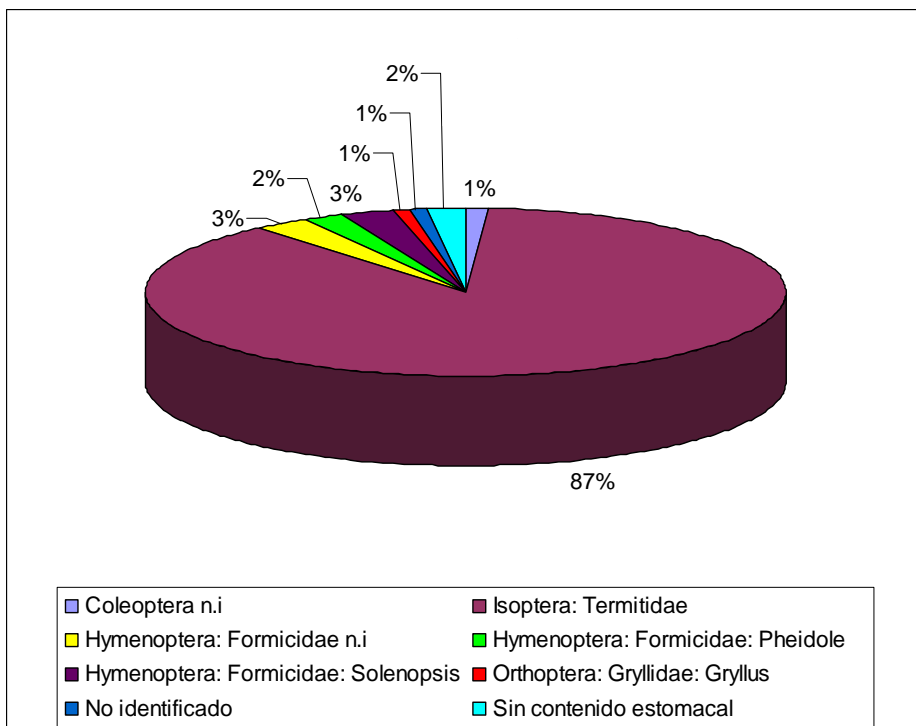


Figura 5.4. Contenido estomacal de *Ollotis occidentalis*.

Tabla 5.1

Especies	<i>Hyla arenicolor</i>	<i>Hyla xera</i>	<i>Lithobates spectabilis</i>	<i>Ollotis occidentalis</i>
<i>Hyla arenicolor</i>	-	.3309	.4640	.0514
<i>Hyla xera</i>		-	.2429	.0328
<i>Lithobates spectabilis</i>			-	.4242
<i>Ollotis occidentalis</i>				-

La sobreposición en el recurso alimento se da principalmente entre *H. arenicolor* y *L. spectabilis*, seguidas de *L. spectabilis* y *O. occidentalis*, debido a que son las especies que presentaron mayor similitud en el alimento consumido. Sin embargo como todos los organismos de *H. arenicolor* se distribuyen en el “El Charcote”, una poza de agua no asociada de manera directa al Río Salado, donde se distribuye *L. spectabilis*, no podría existir una competencia entre ellos, no así para *O. occidentalis* y *L. spectabilis* que comparten el mismo espacio (tabla 5.1).

#### Presas disponibles

De las especies que se encontraron sobresalen: Aranae: Lycosidae con 89 organismos (Foto 5.1 y 5.2); Hymenoptera: Formicidae: Solenopsis con 36 organismos (Foto 5.3) e Hymenoptera: Formicidae: *Camponotus* con 16 organismos (Foto 5.4).



Foto 5.1.



Foto 5.2.



Foto 5.3. Hymenoptera: Formicidae: Solenopsis



Foto 5.4. Hymenoptera: Formicidae: Camponotus

Tabla 5.2.

Phylum Anelida
Clase Oligochaeta
Phylum Artropoda
Subphylum Chelicerata
Clase Arachnida
Orden Aranae
Familia Anyphaenidae
Dyctinidae
Lycosidae
Orden Opilionida
Clase Acarida
Orden Acarina
Subphylum Unirramia o Mandibulata
Clase Insecta
Orden Odonata
Suborden Anisoptera
Orden Orthoptera
Familia Gryllidae
Orden Dermaptera
Orden Hemiptera
Orden Neuroptera
Superfamilia Hemerobioidea
Familia Mantispidae
Orden Coleoptera
Superfamilia Caraboidea
Familia Carabidae
Género Brachinidae
Brachinus
Superfamilia Hydrophiloidea
Familia Hydrophilidae
Superfamilia Elateroidea
Familia Elateridae
Superfamilia Cucujoidea
Familia Cucujidae
Superfamilia Scarabaeoidea
Familia Passalidae
Scarabaeidae
Orden Lepidoptera
Orden Diptera
Suborden Brachycera
Familia Tabanidae
Orden Hymenoptera
Familia Mutillidae
Formicidae
Subfamilia Myrmicinae
Género Solenopsis
Pheidole
Sufamilia Formicinae
Género Camponotus
Lasius

*Espacio*

Los anfibios utilizaron un total de 16 microhábitats a lo largo del Río Salado, siendo el sustrato rocoso el microhábitat más explotado (Figs. 5.5 – 5.9).

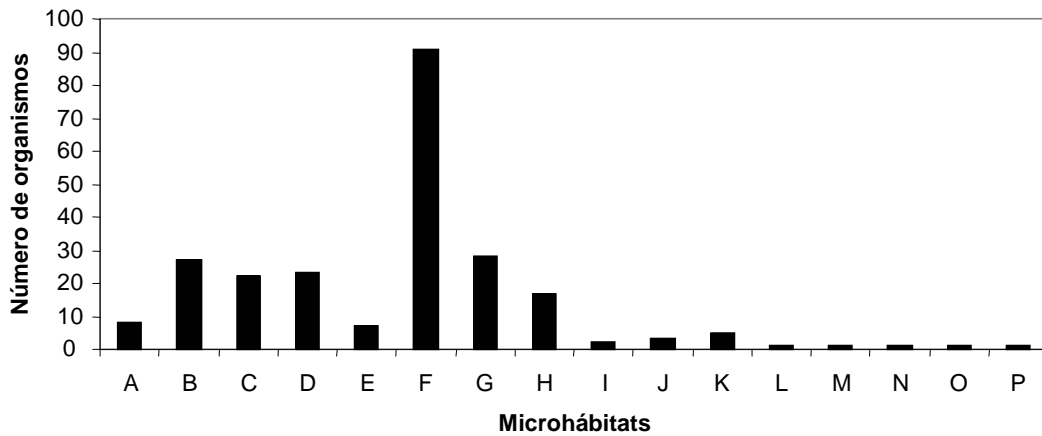


Figura 5.5. Microhábitats utilizados por las cuatro especies. A: Bajo rocas, B: nacimiento de agua, C: sobre rocas, D: charca, E: manantial, F: sustrato rocoso, G: rocas con hierba, H: corriente principal del río, I: orilla del río, J: bajo herbáceas, K: sustrato arenoso, L: sobre algas, M: sustrato de grava N: bajo algas, O: oquedad, P: entre herbáceas.

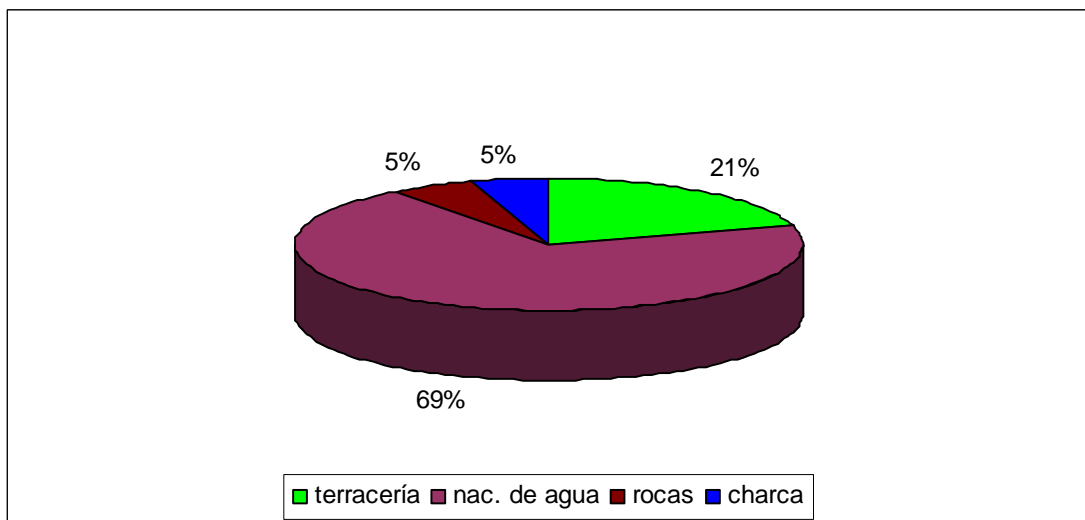


Figura 5.6. Microhábitats utilizados por *Hyla arenicolor*.



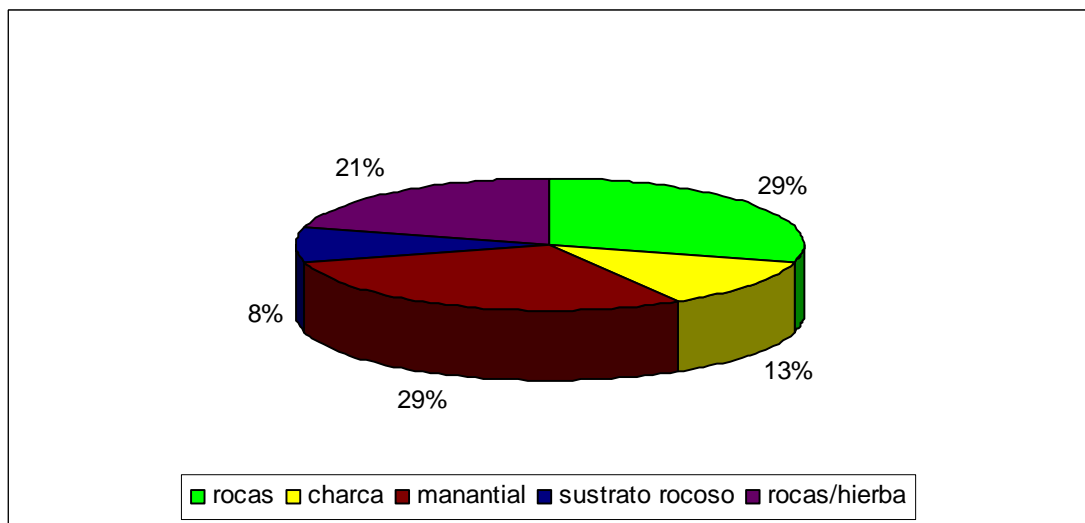


Figura 5.7. Microhábitats utilizados por *Hyla xera*.

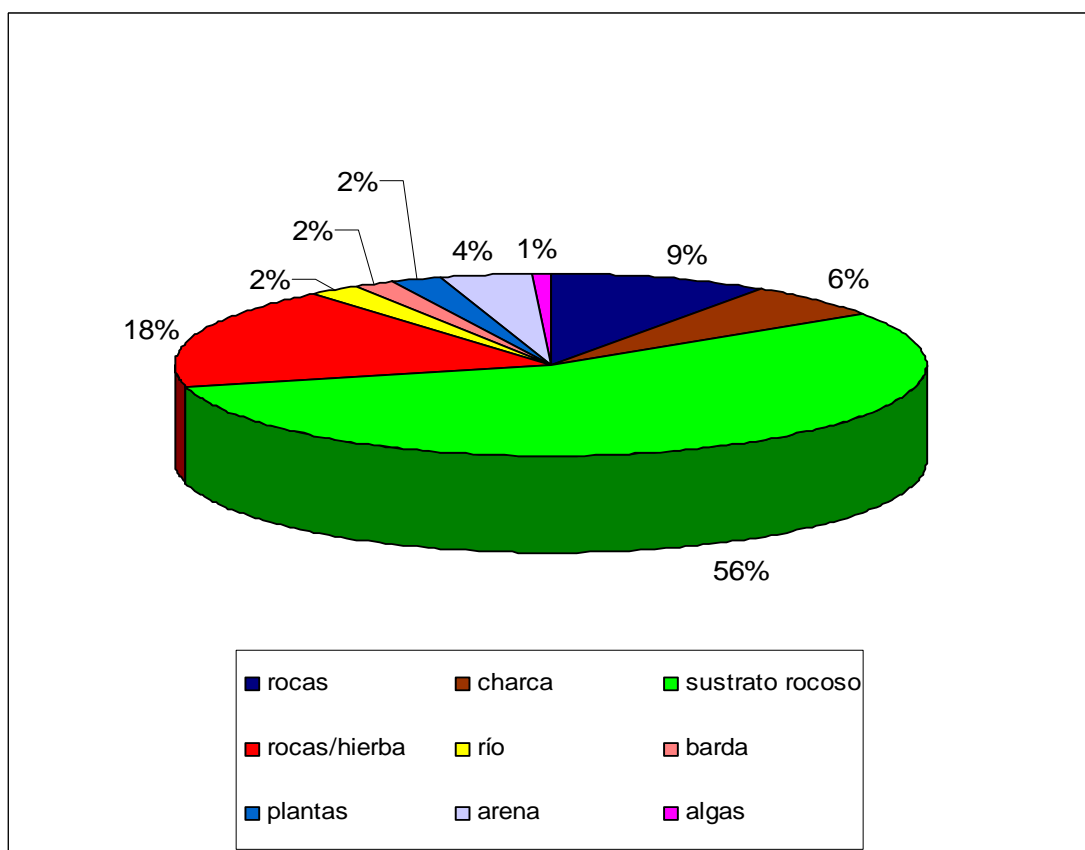


Figura 5.8. Microhábitats utilizados *Lithobates spectabilis*.

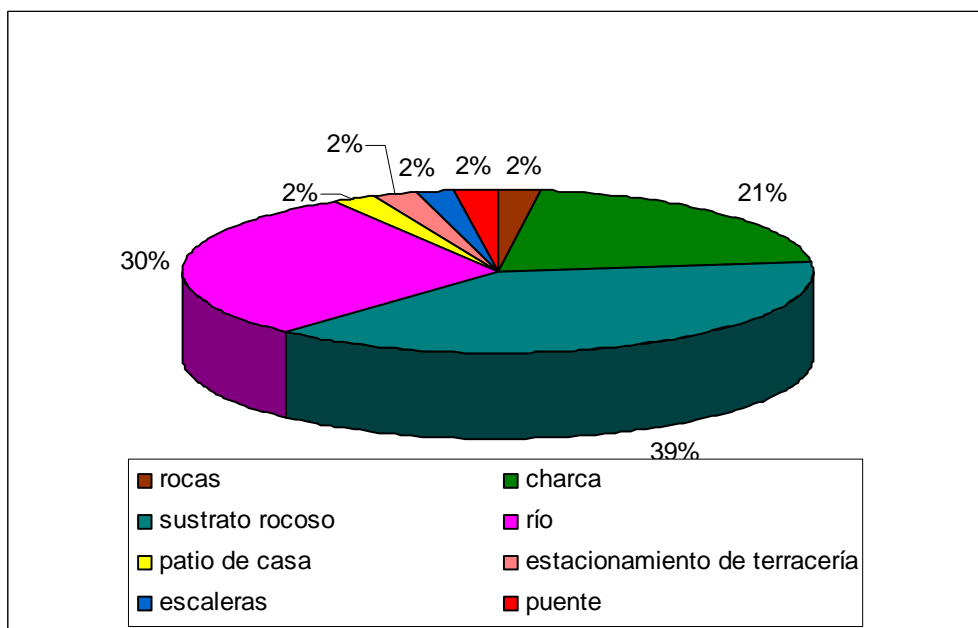


Figura 5.9. Microhábitats utilizados por *Ollotis occidentalis*.

La mayor sobreposición se dio entre *L. spectabilis* y *O. occidetalis* (tabla 5.2), posiblemente se deba a que ambas especies se presentan en las dos localidades con gran abundancia.

Tabla 5.2

Especies	<i>Hyla arenicolor</i>	<i>Hyla xera</i>	<i>Lithobates spectabilis</i>	<i>Ollotis occidentalis</i>
<i>Hyla arenicolor</i>	-	.0605	.0185	.0310
<i>Hyla xera</i>		-	.4101	.2504
<i>Lithobates spectabilis</i>			-	.7401
<i>Ollotis occidentalis</i>				-

### 5.10. *Discusión*

#### *Alimento*

De manera general, hay dos formas mediante las cuales un depredador puede tener acceso a sus presas. Por un lado tenemos aquellos que están en una búsqueda constante del alimento, los cuales se ubican dentro de los “forrajeros activos”; y por otra parte tenemos a los individuos que cazan a sus presas por “asecho” (Pianka, 1966; Schoener, 1974). En el caso del ensamble de anuros que habitan en el Valle de Zapotitlán, presentan una forma intermedia de obtención del alimento. Los individuos no se encuentran en constante movilidad en búsqueda de presas, pero tampoco se encuentran completamente estáticos en espera de que pase una presa potencial. De las cuatro especies estudiadas, *H. xera* y *O. occidentalis* tienden a ser más especialistas, alimentándose principalmente de hormigas y termitas, respectivamente (Figs. 5.2, 5.4). No obstante, *O. occidentalis* presenta una dieta variada pero con una preferencia marcada a las termitas. Por otro lado, *H. arenicolor* y *L. spectabilis* tienden a ser más generalistas. En el caso de *L. spectabilis* se presentó una ligera tendencia al canibalismo y depredación sobre *O. occidentalis*.

Parece que el tamaño corporal y de las estructuras bucales presentan un papel importante en el tipo de presas consumidas, ya que la especie más pequeña (*H. xera*) presentó un bajo traslape en el tipo de alimento consumido. El mayor traslape se dio entre *H. arenicolor* y *L. spectabilis*, así como entre esta última con *O. occidentalis* (ver tabla 5.1).

Algunos anuros son muy voraces en su alimentación. Aquellos de talla grande como *Ceratophrys ornata*, *Discodeles guppyi*, *Pyxicephalus adspersus* y *Rana catesbaiana*, generalmente se alimentan de presas grandes como mamíferos, aves, tortugas y serpientes de tamaño pequeños, así como de otros anuros (Duellman y Trueb, 1994). Esto último se observó en *L. spectabilis*, ya que en los estómagos de siete individuos fueron encontrados anuros de la especie *O. occidentalis*, así como organismos de su misma especie. Éste proceso de canibalismo ha sido observado en otras especies de anfibios, principalmente en aquellas especies donde tienen puestas muy numerosas (Stebbins y Cohen, 1995).

Como en el caso de *H. xera*, principalmente, también ha sido reportado *Rhinophrynus dorsalis* como un especialista, que se alimenta principalmente de hormigas y termitas (Stebbins y Cohen, 1995). Para estas especies, se puede presentar una actividad estacional que puede estar relacionada con la actividad de sus presas. Por ejemplo, para *Breviceps berrucosus* de Sudáfrica y *Scaphiopus couchii* en Norteamérica, su actividad está directamente correlacionada con la aparición de enjambres de termitas (Poynton y Pritchard, 1976; Dimmitt y Rubial, 1980).

*O. occidentalis* es una especie cuya distribución es amplia en México (Oliver-López *et al.*, 2009), al igual que *L. spectabilis* e *H. arenicolor* (Frost *et al.*, 2006). Sin embargo, *H. xera* es endémica a ésta región semiárida del país. Su especialización hacia el tipo de presas consumidas puede tener implicaciones para la elaboración de planes y propuestas de conservación debido a que una parte de la región se está fragmentando (Arizmendi *et al.*, 2007), reduciendo los lugares potenciales de la localización de su alimento, lo cual puede poner en riesgo a dicha especie.

### *Espacio*

En el Valle de Zapotitlán, se registraron un total de 16 microhábitats (Fig. 5.5), de los cuales, 53% de éstos fueron ocupados por *L. spectabilis* y el 47, 30 y 24% fueron utilizados por *O. occidentalis*, *H. xera* e *H. arenicolor* respectivamente. No obstante, a pesar de que *L. spectabilis* y *O. occidentalis* utilizaron la mayor parte de los microhábitat, éstos son pocos en comparación con los microhábitat ocupados por ensambles de especies que habitan en zonas tropicales (Wells, 2007). En relación a los hílidos presentes en el valle, son especialistas, puesto que utilizaron 5 y 4 microhábitats disponibles.

El uso del microhábitat en la elección de sustratos, pozas o arroyos es un proceso que llevan principalmente los anuros adultos y puede ser indicador de riqueza de especies (Lane *et al.*, 2007). No obstante, a pesar de los diferentes microhábitats ocupados por las especies, todos están relacionados de manera directa o indirecta con la presencia de agua. Sin embargo, considerar únicamente a los hábitats acuáticos, puede minimizar la comprensión de los procesos y estructura del ensamble de algunas especies debido a que éstas pueden distribuirse en otros microambientes como áreas terrestres o arbóreas adyacentes al cuerpo de agua (Bastazini *et al.*, 2007).

En el presente trabajo es evidente una cantidad pequeña de microhábitats ocupados. Esto puede deberse a dos factores principales: 1) el Valle de Zapotitlán Salinas, al presentar una condición semiárida, no presenta una estructura vegetal completa vinculada a los cuerpos de agua que pudiera albergar una cantidad de especies elevada, como es el caso de algunas zonas tropicales (Arzabe, 1999; Arzabe *et al.*, 1998; Brasileiro *et al.*, 2005; Eterovick y Sazima, 2000; Gardner *et al.*, 2007; Giaretta *et al.*, 1999; Richardson, 1999; Tews *et al.*, 2004). 2) La fragmentación del hábitat provocado por las actividades humanas puede influir de manera directa en la cantidad de microhábitats potenciales para ser ocupados por estos organismos, que a su vez, estaría afectando la distribución de los anfibios (Tyler *et al.*, 2007). Este último factor es el que más se ha evidenciado en el descenso de poblaciones de anuros en todo el mundo durante los últimos 25 años (Lips *et al.*, 2006; Pounds *et al.*, 2006; Stuart *et al.*, 2004; Tyler *et al.*, 2007).

Los resultados presentados en este capítulo indican los procesos incluidos en el reparto de recursos del ensamble de anuros en el valle. Se tienen algunos elementos para decir que la alimentación y uso de microhábitat pueden estar determinando la distribución de estos organismos. Sin embargo, es importante considerar que las actividades humanas podrían romper con el esquema ecológico de estos animales y enviarlos directamente a la lista de espera de otras poblaciones de anfibios que van en declive y de algunas otras que ya están extinguidas. Una propuesta para conservar a las especies que conforman el ensamble de anuros del valle es continuar monitoreando dichas poblaciones.

### 5.11. Conclusiones

- La mayor proporción de las presas consumidas pertenecen a la familia formicidae, termitidae, así como al orden coleóptera.
- Los microhábitats más utilizados fueron sustratos rocosos y herbáceos contiguos a cuerpos de agua.
- La mayor sobreposición del uso de los recursos espacio y alimento se dio entre *L. spectabilis* y *O. occidentalis*.
- La talla de *L. spectabilis* favorece a la amplia variedad de presas consumidas, incluidas otras especies de anuros y congéneres.
- *H. xera* presenta tendencias hacia la especialización del microhábitat ocupado y alimento consumido, lo cual puede hacerla susceptible ante cambios ambientales.

## Capítulo 6.

**Factores que influyen la distribución de *Poeciliopsis fasciata* a lo largo del Río salado (Puebla, México).****Factors Influencing the Distribution of *Poeciliopsis fasciata* along the Río Salado (Puebla, Mexico)**

Guillermo A. Woolrich-Piña<sup>a</sup>, Geoffrey R. Smith<sup>b,c</sup>, Luis Oliver-López<sup>a</sup>,  
Monica Barbosa Morales<sup>a</sup>, and Julio A. Lemos-Espinal<sup>a</sup>

## ABSTRACT

In Mexico, several species of fishes are being affected by anthropogenic changes in rivers and streams. In order to understand the potential impacts of human activities on *Poeciliopsis fasciata*, we examined characteristics of the Río Salado in Puebla, Mexico that were associated with the presence of *P. fasciata*. Fish were observed in the river in March 2007 and from November 2007 through February 2008, but not from April 2007 through October 2007. The dynamic nature of the Río Salado likely influences the presence of *P. fasciata*, as evidenced by our finding fish in the study area only during a limited period during the year. The distribution of *P. fasciata* along the Río Salado is clearly influenced by factors related to the permanence of water, the chemical nature of the water (salinity, dissolved oxygen), and the presence of vegetation. Our results suggest that the presence of salt factories ("salineras") along the Río Salado have the potential to influence the presence of *P. fasciata*, either through changes in water flow or salinity.

## INTRODUCTION

Around the world, many streams and rivers are threatened by human alterations of flow, water quality, or the surrounding environment (e.g., Patten 1998, Malmqvist and Rundle 2002, Mokaya et al. 2004). In Mexico, water use and alterations of aquatic habitats are known to negatively affect wetlands, aquifers, rivers, and lakes (e.g., Soto-Galera et al. 1999, Esteller and Diaz-Delgado 2002). As a result, several species of fishes are being affected by these changes in rivers and streams (e.g., Lyons et al. 1998, Soto-Galera et al. 1998 and 1999, de la Vega-Salazar et al. 2003, Domínguez-Domínguez et al. 2006 and 2008, Mercado-Silva et al. 2006, López-López et al. 2009). The causes of such changes include habitat fragmentation and loss (e.g., Contreras-Balderas et al. 2003, de la Vega-Salazar et al. 2003), eutrophication (Soto-Galera et al. 1999, de la Vega-Salazar et al. 2003), siltation (Mercado-Silva et al. 2006), loss of flow due to damming or human usage (Diaz-Prado et al. 1993, Lyons et al. 1998, Soto-Galera et al. 1998 and 1999, Contreras-Balderas et al. 2003, Mercado-Silva et al. 2006, Domínguez-Domínguez et al. 2008), introduced species (Varela-Romero et al. 2002), and pollution (Lyons et al. 1998, Soto-Galera et al. 1999). Indeed, 38% of Mexican fishes appear to be threatened or have gone extinct due to human activities (Contreras-Balderas et al. 2003).

In some parts of Mexico and the southwestern United States, species of *Poeciliopsis* are endangered due to human activities (e.g., Meffe et al. 1983, Contreras-Balderas et al. 2003). Here we report the results of a monthly survey of the presence and absence of *Poeciliopsis fasciata* in sections of the Río Salado in Puebla, Mexico in order to understand the potential impacts of human activities on this fish.

## METHODS AND MATERIALS

The Río Salado runs through El Valle de Zapotitlán Salinas in southeastern Puebla, Mexico. El Valle de Zapotitlán is part of the Valle de Tehuacan-Cuicatlán that lies in central Mexico, which is considered to be an ecologically important region due to

<sup>a</sup> Laboratorio de Ecología, Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (FES-Iztacala, UNAM), Tlalnepantla, Estado de México, México 54090.

<sup>b</sup> Department of Biology, Denison University, Granville, Ohio 43023 USA.

<sup>c</sup> Corresponding author; E-mail: smithg@denison.edu

its high levels of biodiversity and endemism (Dávila-Aranda et al. 1993). There have been few studies on the fishes of the Valle de Zapotitlán Salinas.

We conducted surveys of the Río Salado monthly from February 2007 to June 2008 to determine the distribution of *P. fasciata*. We surveyed the first 10 – 19 sections of river we encountered in each of our surveys. Surveys took place in the morning hours (e.g., 0800 to 1200 h). Each river section (a discrete pool or section of the river identified as a single continuous length of river of similar water flow, either a pool with still water or a section of river with greater flow between two pools) was visually searched for the presence of fish (the river sections were small enough and the water clear enough and shallow enough to easily detect *P. fasciata*). All river sections were contiguous with or, in the case of isolated pools, parallel to the main channel of the river (i.e., we did not skip sections of the river during our surveys).

We measured the distance between each section or pool and the main channel of the Río Salado. We also measured the length and width of each river section. For each sampled river section we measured maximum depth, salinity, temperature, dissolved oxygen, and pH. We measured water chemistry and temperature approximately 20 – 30 cm from the river's edge and at a depth of 10 – 20 cm. Salinity, dissolved oxygen, and temperature were measured using a YSI Model 85 meter. We used indicator paper to measure pH. In addition, we visually estimated the percentage of cover of aquatic vegetation in each pool.

We used a multivariate analysis of variance (MANOVA) to compare the physical and chemical parameters between river sections with and without fish among months. We limited this analysis to the November 2007 to February 2008 surveys (i.e., months when fish were observed). A significant MANOVA was followed by univariate ANOVAs. Because individual river sections could not be followed from month to month (due to the changing presence of pools and riffles along the river), we could not use repeated measures ANOVA.

## RESULTS

Fish were observed in the river in March 2007 and from November 2007 through February 2008 (Fig. 1). To investigate the factors that might influence the distribution of *P. fasciata* in the Río Salado, we limited our analyses to the November 2007 to February 2008 surveys (i.e., a single continuous active season).

The MANOVA found significant differences between the river sections where we found fish and where we did not find fish (Wilks'  $\lambda = 0.182$ ,  $F_{8,50} = 28.11$ ,  $P < 0.0001$ ).

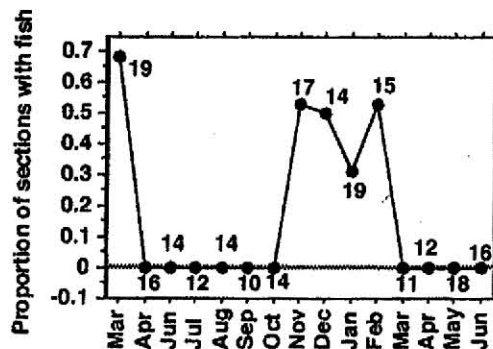


Figure 1. Proportion of surveyed river sections with *Poeciliopsis fasciata* during monthly surveys of the Río Salado from February 2007 to June 2008. Number of surveyed river sections is provided for each survey.



There was also a significant month effect (Wilks'  $\lambda = 0.009$ ,  $F_{24, 146} = 24.65$ ,  $P < 0.0001$ ). We also found a significant month by fish presence interaction (Wilks'  $\lambda = 0.305$ ,  $F_{24, 146} = 3.07$ ,  $P < 0.0001$ ).

Water depth varied among months (Fig. 2A;  $F_{3,57} = 5.35$ ,  $P = 0.0026$ ). Water depth was greater in river sections with fish ( $F_{1,57} = 59.4$ ,  $P < 0.0001$ ). The difference in depth between river sections with and without fish increased over time ( $F_{3,57} = 8.39$ ,  $P = 0.0001$ ).

Width of the river sections did not vary from month to month (Fig. 2B;  $F_{3,57} = 1.68$ ,  $P = 0.18$ ). Sections of the river where we found fish were wider than sections without fish ( $F_{1,57} = 14.27$ ,  $P = 0.0004$ ). The difference between sections with and without fish generally increased over time ( $F_{3,57} = 3.59$ ,  $P = 0.019$ ).

River section length did not change from month to month (Fig. 2C;  $F_{3,57} = 1.01$ ,  $P = 0.40$ ). Sections where we found fish were longer than sections where we did not find fish ( $F_{1,57} = 11.2$ ,  $P = 0.0015$ ). The interaction between fish presence and month was not significant ( $F_{3,57} = 0.96$ ,  $P = 0.42$ ).

Distance to the main channel varied from month to month (Fig. 2D;  $F_{3,57} = 5.68$ ,  $P = 0.0018$ ). Sections of the river that contained fish were closer to the main river channel than sections that did not contain fish ( $F_{1,57} = 48.4$ ,  $P < 0.0001$ ). This difference changed over time, being largest in December 2007 ( $F_{3,57} = 6.34$ ,  $P = 0.0009$ ).

Dissolved oxygen levels remained relatively constant among months (Fig. 2E;  $F_{3,57} = 0.4$ ,  $P = 0.75$ ). Dissolved oxygen levels were higher in river sections where we observed fish compared to the sections without fish ( $F_{1,57} = 83.6$ ,  $P < 0.0001$ ). The interaction between month and fish presence was not significant ( $F_{3,57} = 1.89$ ,  $P = 0.14$ ).

Salinity showed slight monthly variations (Fig. 2F;  $F_{3,57} = 3.03$ ,  $P = 0.0367$ ). River sections with fish had significantly lower salinity than river sections without fish ( $F_{1,57} = 69.36$ ,  $P < 0.0001$ ). There was no significant interaction between fish presence and month ( $F_{3,57} = 0.40$ ,  $P = 0.75$ ).

Temperature showed a clear variation among months with a low in January 2008 (Fig. 2G;  $F_{3,57} = 813.2$ ,  $P < 0.0001$ ). There was no difference in temperature between sections with and without fish ( $F_{1,57} = 0.83$ ,  $P = 0.77$ ). There was no significant fish presence by month interaction ( $F_{3,57} = 1.36$ ,  $P = 0.26$ ).

The amount of vegetative cover did not vary from month to month (Fig. 2H;  $F_{3,57} = 1.30$ ,  $P = 0.28$ ). Fish were found in river sections that contained more vegetation than river sections without fish ( $F_{1,57} = 169.4$ ,  $P < 0.0001$ ). The interaction between month and fish presence was significant, with the differences between sections with and without fish greatest from December to February ( $F_{3,57} = 3.74$ ,  $P = 0.016$ ).

## DISCUSSION

The dynamic nature of the Río Salado likely influences the fish that live in it, as evidenced by our finding *P. fasciata* in the study area only during a limited time during the year. Recovery of stream fish populations after drought or dry seasons can be rapid (see Lake 2003, Matthews and Marsh-Matthews 2003), as was observed in our study.

The distribution of *P. fasciata* is clearly influenced by the characteristics of the river. In particular, factors related to the permanence of water, the chemical nature of the water (e.g., dissolved oxygen, salinity), and the presence of vegetation are important. There were significant differences in river section length, width, depth, and surface area between river sections with and without fish, with those sections with more water (i.e., wider, longer, deeper) having fish. Fish, therefore, appear to be found in sections of the river where water is likely to persist longer. *Poecillopsis* spp. frequently occur in pools along streams that can become isolated in the dry season; however, better pools for *Poecillopsis* spp. are connected to moving water that allows prey to enter the pools (Moore and McKay 1971). *Poecilia gillii* is more abundant in pools that contain a

greater volume of water (Chapman and Kramer 1991). Our results are also consistent with studies on other fishes that have found that pool size or depth can be important for determining fish abundance and species richness, with larger pools frequently having more fish or species (Matthews and Hill 1979, Angermeier and Karr 1983, Angermeier and Schlosser 1989, Capone and Kushlan 1991, Taylor 1997, Magoulick 2000; but see Dekar and Magoulick 2007).

*Poeciliopsis fasciata* tended to be found in sections of the Río Salado in or close to the main river channel, again suggesting the importance of water permanence in its distribution along the Río Salado. *Poecilia gillii* that move into pools outside the main channel will frequently die during the dry season (Chapman and Kramer 1991). Mortality can be quite high for fish that get isolated in small pools that can dry or become too hot during droughts or dry seasons (e.g., John 1964, Tramer 1977). Thus, staying within the main river channel may be critical for survivorship of *P. fasciata*.

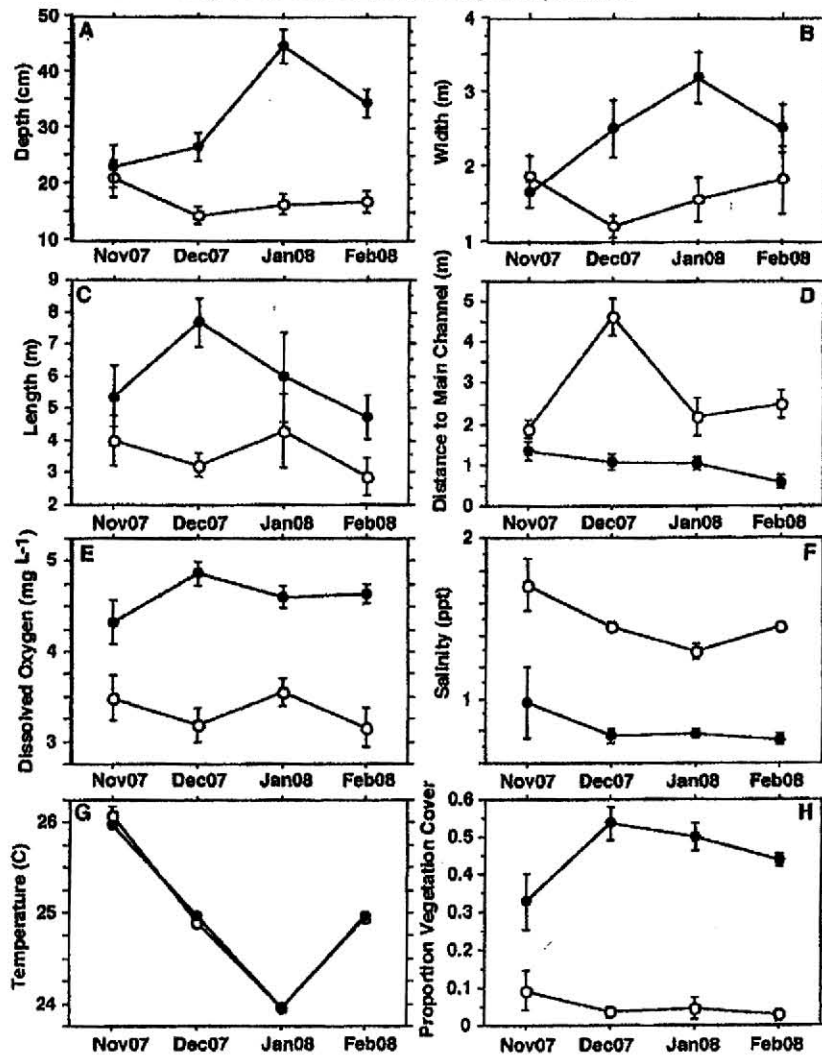


Figure 2. Monthly variation in mean ( $\pm 1$  S.E) characteristics of river sections of the Río Salado with (solid circles) and without (open circles) *Poeciliopsis fasciata*.

*Poeciliopsis fasciata* was found in sections of the river with lower salinities than sections without fish. Indeed, sections without fish were nearly twice as saline as sections with fish. Salinity is known to drive the distribution, both spatially and temporally, of fish in tropical coastal lagoons (Sosa-López et al. 2007) and tropical estuaries (Barletta et al. 2005), as well as some river or stream systems (Higgins and Wilde 2005, López-López et al. 2009). However, salinity does not always affect fish abundances (Hubbs 2001).

Salt factories ("salineras") that divert water from the Río Salado to harvest the salt by evaporation including those just upstream from our study area could greatly alter both the quality and quantity of the water in the Río Salado. Given the apparent importance of water permanence and chemistry on the distribution of *P. fasciata*, it is possible that the salineras may impact *P. fasciata* in the Río Salado through changes in water levels and salinity. Indeed, alterations of streams by humans can create problems for fishes because of increases in the effects of droughts or dry seasons (see Matthews and Marsh-Matthews 2003). The extent of the current impact of the salineras on the Río Salado is not clear; however, any future increases in the number or extent of salineras should be carefully considered in light of the potential impacts on the native fauna, including *P. fasciata*, living in the Río Salado.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by funds from Dirección General de Asuntos de Personal Académico through the project PAPIIT-IN221707 and by Facultad de Estudios Superiores Iztacala through the Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera (PAPCA) 2008-200.

#### LITERATURE CITED

- Angermeier, P.L. and J.R. Karr. 1983. Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. *Environ. Biol. Fish* 9: 117-135.
- Angermeier, P.L. and I.J. Schlosser. 1989. Species-area relationships for stream fishes. *Ecology* 70: 1450-1462.
- Barletta, M., A. Barletta-Bergan, U. Saint-Paul, and G. Hubold. 2005. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *J. Fish Biol.* 66: 45-72.
- Capone, T.A. and J.A. Kushlan. 1991. Fish community structure in dry-season stream pools. *Ecology* 72: 983-992.
- Chapman, L.J. and D.L. Kramer. 1991. The consequences of flooding for the dispersal and fate of poeciliid fish in an intermittent tropical stream. *Oecologia* 87: 299-306.
- Contreras-Balderas, S., P. Almada-Villela, and M. de L. Lourdes-Vilano. 2003. Freshwater fish at risk or extinct in México: a checklist and review. *Rev. Fish Biol. Fisher.* 12: 241-251.
- Dávila-Aranda, P., J.L. Villaseñor-Rios, R. Medina-Lemos, A. Ramirez-Roa, A. Salinas-Tovar, J. Sanchez-Ken, and P. Tenorio-Lezama. 1993. Flora del Valle de Tehuacan-Cuicatlán, México. Serie: Listado florístico de México. Instituto de Biología; Universidad Nacional Autónoma de México. 195 pp.
- Dekar, M.P. and D.D. Magoulick. 2007. Factors affecting fish assemblage structure during seasonal stream drying. *Ecol. Freshwater Fish* 16: 335-342.
- De la Vega-Salazar, M.Y., E. Avila-Luna, and C. Macías-García. 2003. Ecological evaluation of local extinction: the case of two genera of endemic Mexican fish, *Zoogoneticus* and *Skiffia*. *Biodiv. Conserv.* 12: 2043-2056.
- Díaz-Prado, E., M.A. Godínez-Rodríguez, E. López-López, and E. Soto-Galera. 1993. Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol., Méx.* 39: 103-127.
- Domínguez-Domínguez, O., E. Martínez-Meyer, L. Zambrano, and G. Pérez-Ponce de

- León. 2006. Using ecological-niche modeling as a conservation tool for freshwater species: live-bearing fishes in central Mexico. *Conserv. Biol.* 20: 1730-1739.
- Domínguez-Domínguez, O., L. Zambrano, L.H. Escalera-Vázquez, R. Pérez-Rodríguez, and G. Pérez-Ponce de León. 2008. Cambio en la distribución de goodeidos (Osteichthyes: Cyprinodontiformes: Goodeidae) en cuencas hidrológicas del centro de México. *Rev. Mex. Biodiv.* 79: 501-512.
- Esteller, M.V. and C. Díaz-Delgado. 2002. Environmental effects of aquifer overexploitation: a case study in the highlands of Mexico. *Environ. Manage.* 29: 266-278.
- Higgins, C.L. and G.R. Wilde. 2005. The role of salinity in structuring fish assemblages in a prairie stream system. *Hydrobiologia* 549: 197-203.
- Hubbs, C. 2001. Environmental correlates to the abundance of spring-adapted versus stream-adapted fishes. *Texas J. Sci.* 53: 299-326.
- John, K.R. 1964. Survival of fish in intermittent streams of the Chiricahua Mountains, Arizona. *Ecology* 45: 112-119.
- Lake, P.S. 2003. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biol.* 48: 1161-1172.
- López-López, E., J.E. Sedeño-Díaz, F. López Romero, and P. Trujillo-Jiménez. 2009. Spatial and seasonal distribution patterns of fish assemblages in the Río Champotón, southeastern Mexico. *Rev. Fish Biol. Fisher.* 19: 127-142.
- Lyons, J., G. González-Hernández, E. Soto-Galera, and M. Guzmán Arroyo. 1998. Decline of freshwater fishes and fisheries in selected changes of west-central Mexico. *Fisheries* 23: 10-18.
- Magoulick, D.D. 2000. Spatial and temporal variation in fish assemblages of drying stream pools: the role of abiotic and biotic factors. *Aquat. Ecol.* 34: 29-41.
- Malmqvist, B. and S. Rundle. 2002. Threats to the running water ecosystems of the world. *Environ. Conserv.* 29: 134-153.
- Matthews, W.J. and L.G. Hill. 1979. Influence of physico-chemical factors on habitat selection by red shiners, *Notropis lutrensis* (Pisces: Cyprinidae). *Copeia* 1979: 70-81.
- Matthews, W.J. and E. Marsh-Matthews. 2003. Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity. *Freshwater Biol.* 48: 1232-1253.
- Meffe, G.K., D.A. Hendrickson, W.L. Minckley, and J.N. Rinne. 1983. Factors resulting in decline of the endangered Sonoran topminnow *Poeciliopsis occidentalis* (Atheriniformes: Poeciliidae) in the United States. *Biol. Conserv.* 25: 135-159.
- Mercado-Silva, N., J. Lyons, E. Díaz-Pardo, A. Gutiérrez-Hernández, C.P. Ornelas-García, C. Pedraza-Lara, and M.J. Vander Zanden. 2006. Long-term changes in the fish assemblage of the Laja River, Guanajuato, central Mexico. *Aquat. Conserv.: Mar. Freshwater Ecosys.* 16: 533-546.
- Mokaya, M., J.M. Mathooko, and M. Leichtfried. 2004. Influence of anthropogenic activities on water quality of a tropical stream ecosystem. *Afr. J. Ecol.* 42: 281-288.
- Moore, W.S. and F.E. McKay. 1971. Coexistence in unisexual-bisexual species complexes of *Poeciliopsis* (Pisces: Poeciliidae). *Ecology* 52: 791-799.
- Patten, D.T. 1998. Riparian ecosystems of semi-arid North America: diversity and human impacts. *Wetlands* 18: 498-512.
- Sosa-López, A., D. Mouillot, J. Ramos-Miranda, D. Flores-Hernandez, and T.D. Chi. 2007. Fish species richness decreases with salinity in tropical coastal lagoons. *J. Biogeogr.* 34: 52-61.
- Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López, and J. Lyons. 1998. Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma basin, México. *Aquat. Ecosyst. Health Manage.* 1: 267-276.

- Soto-Galera, E., J. Paulo-Maya, E. López-López, J.A. Serna-Hernández, and J. Lyons. 1999. Change in fish fauna as indication of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia – Lagode Cuitzeo Basin, Mexico. *Environ. Manage.* 24: 133-140.
- Taylor, C.M. 1997. Fish species richness and incidence patterns in isolated and connected stream pools: effects of pool value and spatial position. *Oecologia* 110: 560-566.
- Tramer, E.J. 1977. Catastrophic mortality of stream fishes trapped in shrinking pools. *Am. Midl. Nat.* 97: 469-478.
- Varela-Romero, A., G. Ruiz-Campos, L.M. Yépiz-Valázquez, and J. Alaníz-García. 2002. Distribution, habitat and conservation status of desert pupfish (*Cyprinodon macularius*) in the lower Colorado River basin, Mexico. *Rev. Fish Biol. Fisher.* 12: 157-165.

## Capítulo 7.

### Discusión General.

---

---

#### 7.1. Aspectos geográficos.

Actualmente hay muchas zonas desérticas y semidesérticas de nuestro país, así como del resto del mundo, que están enfrentando problemas de aridez, y por esta razón es necesario comprender los procesos hidrológicos de estos lugares para desarrollar estrategias apropiadas para analizar los patrones de escorrentía (Pilgrim *et al.*, 1988). El Río Salado, principal cuerpo de agua del valle, es un claro ejemplo de los ríos de zonas áridas, los cuales se caracterizan por una variabilidad extrema en el flujo de agua y largos periodos sin corriente. No obstante, los eventos de escurrimiento en una cuenca o subcuenca determinada tienden a ser independientes entre estos (Knighton y Nanson, 1997). Dada la diversidad hidrológica de los ambientes áridos, el nivel de independencia de escurrimiento puede variar de acuerdo a las condiciones en las cuales se forma la corriente y la conectividad de la red de drenaje (Knighton y Nanson, 1997). Por ejemplo, Graf (1988) identificó cuatro tipos principales de corrientes en ríos de zonas áridas y semiáridas, estos son: 1) flujo de agua abrupto y rápido; 2) flujos con un pico máximo; 3) flujos con múltiples picos y 4) flujos estacionales, caracterizándose el primero por un alto nivel de independencia debido a que los flujos rápidos y abruptos se relacionan con tormentas aisladas en cuencas pequeñas (Knighton y Nanson, 2001). Este último caso se presenta en el Río Salado, ya que se encuentra ubicado en una cuenca pequeña, de casi 400 km<sup>2</sup> y durante la temporada de lluvias presenta un flujo muy abrupto, la barrancada, que consiste en una corriente intempestiva con una duración de entre 2 y 5 horas. Este evento se repite constantemente en la temporada de lluvias, cuando las tormentas se dan en la parte alta de la cuenca, principalmente en las subcuencas de Santa Ana y San Juan Raya.

En ambientes áridos y semiáridos, el balance hídrico puede proporcionar información útil para desarrollar planes de manejo. La diferencia a largo plazo entre evapotranspiración (ETP) y precipitación (P) es importante debido a que la relación entre estos factores puede indicar si el agua existente es retenida y usada o si es perdida (Domingo *et al.*, 2001). Dicha proporción (P/ETP) para el Valle de Zapotitlán Salinas corresponde a las zonas semiáridas (0.22, ver tabla 2.7), lo cual implica que la entrada de agua ya sea superficial y/o subterránea es menor a la que se pierde. La principal repercusión de este proceso es la pérdida de agua, así como la salinización de la misma (Farrington y Salama, 1996; Greiner, 1997). Este fenómeno es observado en el Río Salado, puesto

que durante le temporada de lluvias se lleva a cabo un aporte de sedimentos ricos en carbonatos de las subcuencas altas, debido al origen calizo de gran parte de la litología del valle, que al bajar y depositarse en el cauce del río, enriquecen al agua de sales otorgándole una propiedad salina, misma que aumenta al momento de llevarse a cabo el proceso de evapotranspiración (Fig. 7.1; Bull y Kirkby, 2002).

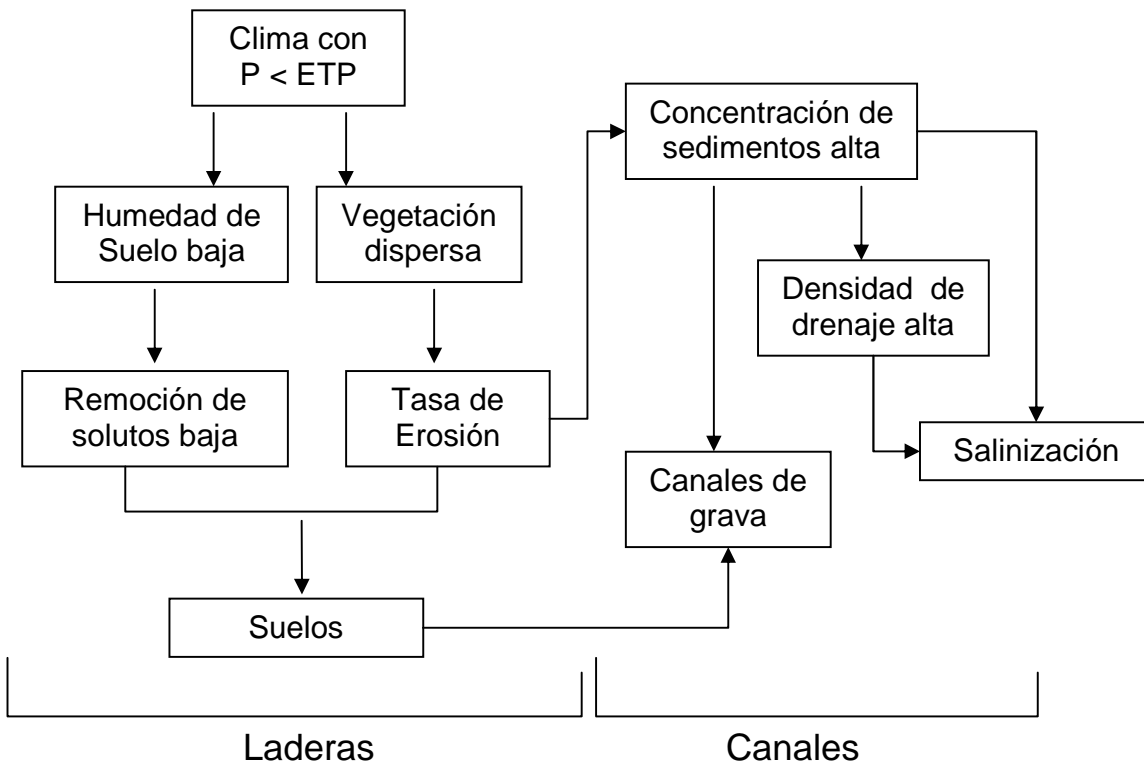


Figura 7.1. Esquema que muestra los procesos geomorfológicos dominantes e impactos sobre ambientes semiáridos y áridos.

Con respecto a la salinidad, el Río Salado presenta niveles desde 0.0 hasta 6.1 ppm. Ésta salinidad no es producto solamente de los procesos geomorfológicos e hidrológicos intrínsecos al valle, sino también de las actividades económicas realizadas en el lugar. Dentro de las actividades productivas del valle se encuentran la agricultura, ganadería, fábricas textiles (de mezclilla, principalmente), extracción de ónix y producción de sal (Lee, 2008), principalmente, las cuales afectan directamente al flujo de agua, así como a la composición física y química del río. La producción de sal influye directamente en la concentración de sales en algunas pozas asociadas a lo largo del cauce. Las salineras se encuentran ubicadas en la subcuenca media del Río Salado (ver Fig,

4.8), lo cual repercute en que los excedentes de sal son vertidos al río y a su vez es arrastrada río abajo, incrementando la salinidad en el trayecto del recorrido del mismo. Esto puede tener un efecto negativo, ya que la mayoría de las especies que habitan este cuerpo de agua están adaptadas a un medio dulceacuícola, de tal manera que si se transforma la propiedad física y química del agua, se pudiera poner en riesgo a las poblaciones de animales que habitan dicho ecosistema acuático, todos estos aspectos se discutirán de manera más profunda en la siguiente sección.

Una alternativa para disminuir los niveles de salinidad y poder conservar a las especies que existen en el Río Salado sería la reforestación en la mayor parte de la zona ribereña, que puedan crecer y adaptarse a suelos calcáreos para evitar así la erosión de suelos y el paso de sedimentos carbonatados (Farrington y Salama, 1996; Montoya-Ayala *et al.*, 2004).

### **7.1. Aspectos ecológicos y de conservación.**

Se ha discutido sobre los procesos geohidrológicos, climáticos y antropológicos que pueden estar modificando los niveles de salinidad en el principal cuerpo de agua del Valle de Zapotitlán Salinas. Dicho proceso repercute de manera directa en los esquemas ecológicos de este ecosistema acuático. En el presente trabajo se observó que la distribución de especies como *H. xera* y *O. occidentalis* (anuros), así como *P. fasciata* (pez) obedece a propiedades físico-químicas (entre ellas, la salinidad) específicas de cada poza distribuida a lo largo del Río Salado. Las pozas más profundas y grandes, con niveles de oxígeno más alto, baja salinidad y alto porcentaje de vegetación acuática eran las que contenían renacuajos, peces e incluso artrópodos. Esta es una clara evidencia que el incremento de la salinidad a lo largo del río puede modificar el patrón de distribución de estos individuos, incluso podría ser un factor determinante en la disminución de las poblaciones locales, como se ha documentado en otros sitios (Dodd y Smith, 2003).

De acuerdo a lo mencionado en la sección anterior, existe la presencia de una serie de factores que influyen en la modificación de la salinidad del río. No solamente la sal producida en las salineras y la que forma parte del sedimento arrastrado de las subcuencas altas llevan a cabo la transformación química del agua, también existen una serie de sustancias químicas provenientes de fertilizantes agrícolas que incrementan la alcalinidad del Río Salado, principalmente formadas a partir de nitratos. Éste compuesto ingresa a los ecosistemas dulceacuícolas a través de corrientes de segundo o de tercer orden debido a su uso en actividades agrícolas, industriales y domésticas, principalmente



(Fenn *et al.*, 2003; Holland *et al.*, 2005), y se proyecta para los próximos años un aumento de los nitratos de amonio como fertilizantes si no se contempla la utilización de abonos orgánicos (Burgett *et al.*, 2007). Se ha observado que algunos efectos de los nitratos sobre las larvas de anuros son letales (Ortiz *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2005) y otros van desde una disminución en el crecimiento (Johansson *et al.*, 2001), cambios en el tiempo de metamorfosis (Edwards *et al.*, 2006), hasta cambios en su comportamiento (Marco y Blaustein, 1999; Hatch y Blaustein, 2000; Burgett *et al.*, 2007). Estos efectos tienen el potencial de afectar las interacciones entre los renacuajos y sus competidores/depredadores, ya que en algunas instancias se ha demostrado que tanto los nitratos como los contaminantes químicos en general afectan la estructura de las comunidades que habitan en los cuerpos de agua, alterando la respuesta contra depredadores por parte de las larvas (Rohr y Crumrine, 2005), así como la competencia entre ellas (Smith *et al.*, 2006).

En las pozas asociadas al Río Salado se observó que había algunas con renacuajos, peces y artrópodos, en otras había solamente larvas, y otras estaban completamente vacías. Para comprender porque los renacuajos de *H. xera* y *O. occidentalis* se distribuían en unas pozas si y en otras no, tanto la salinidad como la densidad podrían dar la respuesta, ya que el diseño experimental montado en el laboratorio demostró que los renacuajos expuestos a las salinidades y densidades más elevadas tardaban más tiempo en crecer y realizar la metamorfosis, principalmente en *H. xera*, aunque *O. occidentalis* mostró este patrón en un grado menor. No obstante esta última especie parece presentar cierta tolerancia a la salinidad puesto que sus larvas son observadas en un mayor tiempo con respecto a los otros anuros que habitan en el Río Salado. Este esquema ha sido observado en *Rhinella marina*, que puede tolerar salinidades tan altas como 15 ppm (Liggins y Grigg, 1985) y *Bufo calimita* con salinidades de 16 a 17 ppm (Hillman *et al.*, 2009).

Si una poza otorga los requerimientos abióticos confortables para los organismos, éstos buscaran dichos requerimientos, incrementando la densidad de individuos. La principal repercusión podría ser el aumento de tiempo para el desarrollo larvario y la realización de la metamorfosis. Esto es de sumo peligro para las larvas, ya que el ambiente semiárido que caracteriza al Valle de Zapotitlán puede influir en una desecación rápida de la charca, dejando expuestas a las larvas a una muerte segura, disminuyendo así sus poblaciones guiándolas a una potencial extinción local. Durante los últimos 10 años, se ha observado una disminución en la abundancia de los anuros en general, sin embargo, para concluir que las poblaciones de anuros están disminuyendo es necesario realizar un estudio sobre

demografía y dinámica poblacional. No por ser la especie más importante, merece atención especial *H. xera*, ya que es un anuro endémico al valle (Canseco-Márquez *et al.*, 2003), el cual podría estar más expuesto a una eventual extinción.

La disminución de los anfibios en general, es una problemática global. Los agentes que están guiando a la extinción son diversos y existen una serie de trabajos bien documentados sobre este problema (Semlitsch, 2003; Collins y Crump 2009). Una de las principales repercusiones radica en la pérdida de organismos que sirven de indicadores tanto de ecosistemas terrestres como dulceacuícolas. Como se vio en el capítulo 5, los anuros adultos, principalmente de vida terrestre, aunque asociados al agua, se alimentan principalmente de artrópodos. La disminución de estos animales también pudiera desarrollar la ruptura de la interacción ecológica depredador-presa, incrementando las poblaciones de insectos que pudieran convertirse en plaga, principalmente para la actividad agrícola. Al parecer, este fenómeno también pudiera presentarse por la desaparición de algunas poblaciones de lagartijas en México (Sinervo *et al.*, 2010)

De manera general, este trabajo aporta bases para el desarrollo de estrategias en materia de conservación de anfibios, con énfasis a zonas semiáridas, como el Valle de Zapotilán Salinas, zona importante por la gran biodiversidad que alberga.

## Referencias.

---

---

- 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 de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 49 pp.
- Abbadié-Bisogno K., L. Oliver-Lopez, and A. Ramírez-Bautista.** 2001. *Bufo occidentalis*. Death feigning. *Herpetological Review* 32: 247 pp.
- Aguilo-Alonso M. et al.,** 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Ministerio de Obras Publicas y Transporte. Secretaría de Estado para las Políticas de Agua y el Medio Ambiente. Madrid, España. pp. 321- 380.
- Akin G. C.** 1966. Self-Inihibtion of growth in *Rana pipiens* tadpoles. *Physiological Zoology* 39: 341-356.
- Alford R. A.** 1986. Effects of parentage on competitive ability and vulnerability to predation in *Hyla chrysoscelis* tadpoles. *Oecologia* 68: 199-204.
- Alford R. A. and R. N. Harris.** 1988. Effects of larval growth history on anuran metamorphosis. *American Naturalist* 131: 91-106.
- Ancona P. I. J., A. E. Mena, y V. G. Zapata.** 2004. Ecología y educación ambiental. Universidad Autónoma de Yucatán. Mc Graw-Hill. México. 233 pp.
- Aquino-Caballero E.** 2010. Efecto de la salinidad y densidad poblacional en el desempeño de las larvas del sapo de los pinos *Ollotis occidentalis* (Anura: Bufonidae), provenientes de las pozas asociadas al Río Salado, Puebla. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 43 pp.
- Arias-Toledo A. A., M. T. Valverde-Valdés, y J. Reyes-Santiago.** 2001. Las plantas de la región de Zapotitlán Salinas, Puebla. INE-SEMARNAT. D.F. México. 72 pp.
- Arizmendi M. C., G. Ávila, F. López, M. Murguía, S. Rodríguez, y S. Solórzano.** 2007. Deterioro ambiental en zonas áridas. Una década de experiencia multidisciplinaria del proyecto UBIPRO. FES Iztacala UNAM. México. 322 pp.
- Arzabe C.** 1999. Reproductive activity patterns of anurans of two different altitudinal sites within the Brazilian Caatinga. *Revista Brasileira du Zoología* 16: 851-864.
- Arzabe C., C. X. de Carvalho, and M. A. Goes Costa.** 1998. Anuran assemblages in Crasto forest ponds (Sergipe State, Brazil): Comparative structure and calling activity patterns. *Herpetological Journal* 8: 111-113.

- Baker M. B. Jr., J. D. Benavides, y E. Talavera.** 1994. Relaciones entre la precipitación pluvial y el escurrimiento de la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, México. USDA, Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-GTR. Fort Collins, Colorado, USA. pp 131-141.
- Balinsky J. B.** 1981. Adaptation of nitrogen metabolism to hyperosmotic environment in Amphibia. *Journal of Experimental Zoology* 215: 335-350.
- Balling R. C. Jr., and S. G. Wells.** 1990. Historical rainfall patterns and arroyo activity within the Zuni River drainage basin, New Mexico. *American Geographers Annual* 80: 603-617.
- Barbosa-Morales M.** 2008. Caracterización de las pozas asociadas al Río Salado, Puebla, México (Larvas de anfibios y Factores abióticos). Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 47 pp.
- Barrios-Damián M., y A. B. Melgoza P.** 2005. Repartición de los Recursos Alimentarios en un ensamble de Anuros en Quilamula, Tlalquitenango, Morelos, México. Memorias del VII Congreso Latinoamericano de Herpetología. Cuernavaca, Morelos, México.
- Bastazini C. V., J. F. V. Mundurucá, P. L. B. Rocha, and M. F. Napoli.** 2007. Which environmental variables better explain changes in anuran community composition? A case study in the Restinga of Mata de São João, Bahia, Brazil. *Herpetologica* 63:459-471.
- 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.
- Bland R. G., and H. E. Jaques.** 1978. How to know the insects. The pictured key nature series. Third Edition. USA. 409 pp.
- Bloom L. A.** 1974. La superficie de la Tierra. Ed. Omega. Barcelona, España. 150 pp.
- Borrer D. J., and R. E. White.** 1970. A field guide to the Insects. America and North of Mexico. Houghton Mifflin Company. The Peterson Field Guide Series. New York, USA. 404 pp.
- Brasileiro C. A., R. J. Azuaya, M. C. Kiefer, and M. Martins.** 2005. Amphibians of an open cerrado fragment in southeastern Brazil. *Biota Neotropica* 5: 1-17.
- Brown R. K., M. Pomeroy, and A. J. Hamer.** 2003. High density effects on the growth, development and survival of *Litoria aurea* tadpoles. *Aquacultura* 215: 109-121.
- Brunet J.** 1967. Geologic studies. In Byers D. S. (ed). *The prehistory of the Tehuacan Valley*. Vol. 1. University of Texas Press. Austin Texas USA. pp 66-90.
- Bull W. B.** 1991. Geomorphic responses to climatic change. Oxford University Press. Oxford, UK. 201 pp.

- Bull L. J., and M. J. Kirkby (eds).** 2002. Dryland rivers: hydrology and geomorphology of semiarid channels. John and Wiley Sons. Chichester, UK. 215 pp.
- Burgett A. A., C. D. Wright, G. R. Smith, D. T. Fortune, and S. L. Johnson.** 2007. Impact of ammonium nitrate on wood frog (*Rana sylvatica*) tadpoles: Effects on survivorship and behavior. *Herpetological Conservation and Biology* 2: 29-34
- Burkard M. B., and I. Kostachuk.** 1995. Initiation and evolution of gullies along the shoreline of Lake Huron. *Geomorphology* 14: 211-219.
- Burnett A. W., and S. A. Schumm.** 1983. Alluvial river response to neotectonic deformation in Louisiana and Mississippi. *Science* 222: 49-50.
- Byers D. S.** 1967. *The prehistory of the Tehuacan Valley*. Vol. 1. University of Texas Press. Austin Texas USA.
- Caldwell J. P.** 1973. Tropical tree frogs communities: Patterns of reproduction, size, and utilization of structural habitat. Ph. D. Dissertation. University of Kansas. Kansas, USA. 197 pp.
- Campbell J. A.** 2000. A new species of venomous coral snake (Serpentes: Elapidae) from high desert in Puebla, Mexico. *Proc. Biol. Soc. Washington* 113: 291-297.
- Canseco-Márquez L., y 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.
- Canseco-Márquez L., G. Gutiérrez-Mayén, and J. R. Mendelson III.** 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: 670-675.
- Capot-Rey R.** 1951. Une carte l'indice d'aridité au Sahara français. Bulletin de l'association de Géographes Français 216 : 73-76.
- Capula M.,** 1990, Guía de anfibios y reptiles. Ediciones Grijalbo, S. A. Barcelona. Pp. 256.
- Castellón B. R.** 2000. Cuthá, Zapotitlán Salinas, Puebla. Arqueología y etnicidad en el área Popoloca. Tesis Doctoral. UNAM. México.
- Charlton Ro.** 2009. Fundamentals of fluvial geomorphology. Taylor & Francis Group Press. 2<sup>th</sup> edition. London, UK. 234 pp.
- Chávez-Osorio G., y R. Castro-Franco.** 2005. Variación de la dieta de la lagartija *Sceloporus horridus horridus*. Memorias del VII Congreso Latinoamericano de Herpetología. Cuernavaca, Morelos, México.

- Chinathamby K., R. D. Reina, P. C. E. Bailey, and B. K. Lees.** 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.
- Christian K. A.** 1982. Changes in the food niche during postmetamorphic ontogeny of the frog *Pseudacris triseriata*. *Copeia* 1982: 73-80.
- Christman S. P.** 1974. Geographic variation for salt water tolerance in the frog *Rana sphenoccephala*. *Copeia* 1974: 773-778.
- Christy M.T., and C. R. Dickman.** 2002. Effects of salinity on tadpoles of the green and golden bell frog (*Litoria aurea*). *Amphibia-Reptilia* 23: 1-11.
- Código Borgia.** 1963. Fascimile edition of a preColumbian codex preserved in the Ethnographical Museum of the Vatican. Rome. Italy.
- Collins J. P., and M. L. Crump.** 2009. Extinction in our times: Global amphibian decline. Oxford University Press. New York, USA. 273 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CNA).** 2007. Mapa de Cuencas Hidrográficas de México. Escala 1: 250 000. México D. F.
- Conant R., and J. Collins.** 1991. Peterson field guides of reptiles and amphibians of Eastern/Central North America. Ed. Houghton Mifflin. Boston. MA., U.S.A. 450 pp.
- Cook S., and L. Binford.** 1990. Obliging Need: Rural Petty Industry in Mexican Capitalism. Austin: University of Texas Press. Texas. U.S.A. 148 pp.
- Correa-Sánchez F.** 2004. Estudio comparativo de la ecología reproductiva de *Sceloporus gadoviae* (Phrynosomatidae) en Zapotitlán de las Salinas Puebla y el Cañón del Zopilote, Guerrero, México. Tesis de Maestría. FES Iztacala. UNAM. 67 pp.
- D’Odorico P., and A. Poporato.** 2006. Ecohydrology of arid and semiarid ecosystems: an introduction. In P. D’Odorico, and A. Poporato (eds). Dryland ecohydrology. Springer. Netherlands. pp. 1-10.
- Dávalos-Álvarez O. G., A. F. Nieto-Samaniego, S. A. Alaniz-Álvarez, E. Martínez-Hernández, y E. Ramírez-Arriaga.** 2007. Estratigrafía cenozoica de la región de Tehuacán y su relación con el sector norte de la falla de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24: 197-215.
- Davenport J., and K. K. Huat.** 1997. Salinity tolerance and preference in the frog *Rana rugulosa* (Wiegmann). *Herpetological Journal* 7: 114-115.

- Davie T.** 2008. Fundamentals of hydrology. Taylor & Francis Group Press. 2<sup>th</sup> edition. London, UK. 200 pp.
- Dayton G. H., and L. A. Fitzgerald.** 2001. Competition, predation, and distributions of four desert anurans. *Oecología* 129: 430-435.
- Denver R. J.** 1997. Proximate mechanism of proximate plasticity in amphibian metamorphosis. *American Zoologist* 37: 172-184.
- Dimmitt M. A., and R. Rubial.** 1980. Exploitation of food resources by spadefoot (*Scaphiopus*). *Copeia* 1980: 854-862.
- Dodd C. K. Jr., and L. L. Smith.** 2003. Habitat destruction and alteration: Historical trends and future prospects for amphibians. In: R. D. Semlitsch (ed). Amphibian Conservation. Smithsonian Institution Press. Washington, USA. pp 94-112.
- Domingo F., L. Villagarcía, M. M. Boer, L. Alados-Arboledas, and J. Puigdefábregas.** 2001. Evaluating the long-term water balance of arid zone stream bed vegetation using evapotranspiration modelling and hillslope runoff measurements. *Journal of Hydrology* 243: 17-30.
- Domínguez R. R.** 1997. Parasitología Agrícola. Taxonomía 3. Strepsiptera a Hymenoptera. Claves y diagnosis. UACH. Chapingo, Estado de México. México. 305 pp.
- Domínguez R. R.** 1998. Parasitología Agrícola. Taxonomía 1. Protura a Homoptera. Claves y diagnosis. UACH. Chapingo, Estado de México. México. 273 pp.
- Domínguez R. R.** 1998. Parasitología Agrícola. Taxonomía 2. Neuroptera a Coleoptera. Claves y diagnosis. UACH. Chapingo, Estado de México. México. 218 pp.
- Duellman W.** 1990. Herpetofauna in Neotropical forests: Comparative composition, history and resource use. In A. H. Gentry (ed). Four Neotropical forests. Yale Univeristy Press. New Haven, Conecticut. USA. pp 455-505.
- Duellman W. E.** 2001. Hylid frogs of Middle America. Volume 1 and 2. Society for the Study of Amphibian and Reptiles. Ithaca, New York. U. S. A. 518 pp.
- Duellman W., and L. Trueb.** 1994. Biology of amphibians. The John Hopkins University Press. 2<sup>th</sup> edition. Baltimore, Maryland. USA. 670 pp.
- Dunson W. A.** 1977. Tolerance to high temperature and salinity by tadpoles of the Philippine frog, *Rana cancrivora*. *Copeia* 1977: 375-378.
- Dziminski M. A.** 2009. Intraspecific competition in the larvae of quacking frogs (*Crinia georgiana*). *Copeia* 4: 724-726.

- Eason G.W., and J. E. Fauth.** 2001. Ecological correlations of anuran species richness in temporary pools: A field study in South Carolina, USA. *Israel Journal of Zoology* 47: 347-365.
- Edwards T. M., K. A. McCoy, T. Barbeau, M. W. McCoy, J. M. Thro, and L. J. Guillette Jr.** 2006. Environmental context determines nitrate toxicity in Southern Toad (*Bufo terrestris*) tadpoles. *Aquatic Toxicology* 78: 50-58.
- Emberger L.** 1930. La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification de groupements végétaux. *Revue Botanique Générale* 42 : 641-662 ; 705-721.
- Emberger L.** 1933. Nouvelle contribution à l'étude de la classification des groupements végétaux. *Revue Botanique Générale* 45 : 473-486.
- Eterovick P. C., and I. M. Barata.** 2006. Distribution of tadpoles within and among Brazilian streams: the influence of predators, habitat size and heterogeneity. *Herpetologica* 62: 365-377.
- Eterovick P. C., and I. Sazima.** 2000. Structure of an anuran community in a montane meadow in southeastern Brazil: Effects of seasonality, habitat and predation. *Amphibia-Reptilia* 31: 439-461.
- Farrington P., and R. B. Salama.** 1996. Controlling dryland salinity by planting trees in the best hydrogeological setting. *Land Degradation and Development* 7: 183-204.
- Fenn M. E., J. S. Baron, E. B. Allen, H. M. Rueth, K. R. Nydick, and L. Geiser.** 2003. Ecological effects of nitrogen deposition in the western United States. *Bioscience* 53: 404-420.
- Fraser D. F.** 1976. Empirical evaluation of the hypothesis of food competition in salamander of the genus *Plethodon*. *Ecology* 57: 459-471.
- Frost D. R., G. T. Faivovich, R. H. Bain, A. Haas, C. F. B. Haddad, R. O. de Sa ; A.Channing, M. Wilkinson, S. C. Donnellan, C. J. Raxworthy, J. A. Campbell, B. L. Blotto, P. Moler, R. C. Drewes, R. A. Nussbaum, J. D. Lynch, D. M. Green, W. C. Wheeler.** 2006. The amphibian tree of life. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 297: 1-370.
- Fuentes A. L., R. R. López y M. C. Soto.** 1971. Metodología para el análisis geográfico de la zona de San Juan Raya (Municipio de Zapotitlán Salinas, Puebla). *Boletín del Instituto de Geografía* 4: 323- 368.
- Gadsden H. E., and L. E. Palacios-Orona.** 1997. Seasonal dietary patterns of the Mexican fringe-toed (*Uma parapygas*). *Journal of Herpetology* 31: 1-9.
- Gadsden H. E., L. E. Palacios-Orona, and G. A. Cruz-Soto.** 2001. Diet of the Mexican fringe-toed Lizard (*Uma exsul*). *Journal of Herpetology* 35: 493-496.
- Galay V. J.** 1983. Causes of river bed degradation. *Water Resources Restoration* 19: 1057-1090.



- García E.** 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köepen. Instituto de Geografía. UNAM. D. F., México. 246 pp.
- García F.** 1991. Influencia de la dinámica del paisaje en la distribución de las comunidades vegetales, en la cuenca del Río Zapotitlán, Puebla. *Boletín de Investigaciones Geográficas* 23: 35-47.
- Gardner T. A., M. A. Ribeiro-Júnior, J. Barlow, T. C. S. Avila-Pires, M. S. Hoogmoed, and C. A. Peres.** 2007. The value of primary, secondary, and plantation forests for a Neotropical herpetofauna. *Conservation Biology* 21: 775–787.
- Gellis A. C.** 1996. Gullying at the Petroglyph National Monument, New Mexico. *Journal of Soil and Water Conservation* 51: 155-159.
- Giaretta A. A., K. G. Facure, R. J. Sawaya, J. H. M. Meyer, and N. Chemin.** 1999. Diversity and abundance of litter frogs in a montane forest of southeastern Brazil: Seasonal and altitudinal changes. *Biotropica* 31: 669-674.
- Gillespie G. R., D. Lockie, M. P. Scroggie, and D. T. Iskandar.** 2004. Habitat use by stream-breeding frogs in south-east Sulawesi, with some preliminary observations on community organization. *Journal of Tropical Ecology* 20: 439-448.
- Gómez-Mestre I., and M. Trejo.** 2003. Local adaptation of an anuran amphibian to osmotically stressful environments. *Evolution* 57: 1889-1899.
- González-Espinoza J. E., G. A. Woolrich-Piña, J. A. Lemos-Espinal y A. Ramírez-Bautista.** 1999. Ecología térmica de la lagartija *Sceloporus jalapae* (Phrynosomatidae) en Zapotitlán Salinas, Puebla. Memorias del XV Congreso Nacional de Zoología, Tepic, Nayarit.
- González-Espinoza J. E., G. A. Woolrich-Piña, J. A. Lemos-Espinal y L. Oliver-López.** 2002. Observaciones sobre la temperatura corporal presentada por tres lacertilios en Zapotitlán de las Salinas Puebla, México. Memorias del 49th Annual Meeting of the South Western Naturalist, Cuernavaca, Morelos.
- Gordon M. S.** 1962. Osmotic regulation in the green toad (*Bufo viridis*). *Journal of Experimental Biology* 39: 261-270.
- Gordon M. S.** 1965. Intracellular osmoregulation in skeletal muscle during salinity adaptation in two species of toads. *Biology Bulletin* 128: 218-229.
- Gordon M. S., K. Schmidt-Nielsen, and H. M. Kelly.** 1961. Osmotic regulation in the crab-eating frog (*Rana cancrivora*). *Journal of Experimental Biology* 38: 659-678.

- Gordon M. S., and V. A. Tucker.** 1965. Osmotic regulation in the tadpoles of the crab-eating frog (*Rana cancrivora*). *Journal of Experimental Biology* 42: 437-445.
- Gordon M. S., and V. A. Tucker.** 1968. Further observations on the physiology of salinity adaptation in the crab-eating frog (*Rana cancrivora*). *Journal of Experimental Biology* 49: 185-193.
- Gosner K. L.** 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16: 183-190.
- Graf W. L.** 1983. Flood related channel change in an arid region river. *Earth Surface Processes and Landforms Journal* 8: 125-139.
- Graf W. L.** 1988. Fluvial processes in dryland rivers. Springer-Verlag. Berlín, Germany. 247 pp.
- Grayson R. B., A. W. Western, J. P. Walker, D. D. Kandel, J. F. Costelloe, and D. J. Wilson.** 2006. Controls and patterns of soil moisture in arid and semiarid systems. In P. D'Odorico, and A. Poporato (eds). *Dryland ecohydrology*. Springer. Netherlands. pp. 109-128.
- Greiner R.** 1997. Catchment management for dryland salinity control: model analysis for the Liverpool Plains in New South Wales. *Agricultural Systems* 56: 225-251.
- Hall S. A.** 1990. Channel trenching and climatic change in the southern U. S. Great Plains. *Geology* 18: 342-345.
- Haramura T.** 2004. Salinity and other abiotic characteristics of ovoposition sites of the rhacophorid frog, *Buergeria japonica*, in coastal hábitat. *Current Herpetology* 23: 81-84.
- Haramura T.** 2007. Microhabitat selection by tadpoles of *Buergeria japonica* inhabiting the coastal area. *Journal of Ethology* 25: 3-7.
- Haramura T.** 2008. Experimental test of spawning site selection by *Buergeria japonica* (Anura: Rhacophoridae) in response to salinity level. *Copeia* 2008: 64-67.
- Hernández-Ríos A.** 2010. Efecto de la salinidad y densidad poblacional en larvas de *Hyla xera* que habitan el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 53 pp.
- Hatch A. C., and A. R. Blaustein.** 2000. Combined effects of UV-B, nitrate, and low pH reduce the survival and activity level of larval Cascades Frogs (*Rana cascadae*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 39: 494-499.
- Hillis O. M., and J. S. Frost.** 1985. Three new species of leopard frogs (*Rana pipiens* complex) from the Mexican Plateau. *Occ. Pap. Mus. Nat. Hist. Kansas* 117: 1-14.

- Hillman S. S., P. C. Withers, R. C. Drewes, and S. D. Hillyard.** 2009. Ecological and environmental physiology of amphibians. Oxford University Press. New York, USA. 469 pp.
- Hirai T., and M. Matsui.** 1999. Feeding habits on the pond frog, *Rana nigromaculata*, inhabiting rice fields in Kyoto, Japan. *Copeia* 1999: 940-947.
- Holland E. A., B. H. Braswell, J. Sulzman, and J. F. Lamarque.** 2005. Nitrogen deposition onto the United States and western Europe: synthesis of observations and models. *Ecological Applications* 15: 38-57.
- Horton R. E.** 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56: 275-370.
- Huggett R. J.** 2007. Fundamentals of geomorphology. Taylor & Francis Group Press. London, UK. 458 pp.
- Jaeger R. G., and J. P. Hailman.** 1981. Activity of Neotropical frogs in relation to ambient light. *Biotropica* 13: 59-65.
- Jaeger R. G., J. P. Hailman, and L. S. Jaeger.** 1976. Bimodal diel activity of a Panamanian dendrobatid frog, *Colostethus nubicola*, in relation to light. *Herpetologica* 32: 77-81.
- James L. A.** 1991. Incision and morphologic evolution of an alluvial channel recovering from hydraulic mining sediment. *Geological Society of America Bulletin* 103: 723-736.
- Jennings R. D., and N. J. Scott Jr.** 1993. Ecologically correlated morphological variation in tadpoles of the leopard frog, *Rana chiricahuensis*. *Journal of Herpetology* 27: 285-293.
- Johansson M., K. Räsänen, and J. Merilä.** 2001. Comparison of nitrate tolerance between different populations of the Common Frog *Rana temporaria*. *Aquatic Toxicology* 54: 1-14.
- John-Adler H. B., and P. J. Morin.** 1990. Effects of larval density on jumping ability and stamina in newly metamorphosed *Bufo woodhousii fowleri*. *Copeia* 1990: 856-860.
- Knighton A. D., and G. C. Nanson.** 1997. Distinctiveness, diversity and uniqueness in arid zone river systems. In: D. S. G. Thomas (ed). Arid zone geomorphology. Wiley. Chichester, UK. Pp. 185-203.
- Knighton A. D., and G. C. Nanson.** 2001. An event-based approach to the hydrology of arid zone rivers in the Channel Country of Australia. *Journal of Hydrology* 254: 102-123.
- Katz U.** 1989. Strategies of adaptation to osmotic stress in anuran amphibians under salt and burrowing conditions. *Comparative Biochemical Physiology A* 93: 499-503.
- Keller E. A., and N. Pinter.** 1996. Active tectonics. Prentice Hall. New York, USA. 189 pp.

- Lane S. J., A. J. Hamer, and M. J. Mahony.** 2007. Habitat correlates of five amphibian species and of species-richness in a wetland system in New South Wales, Australia. *Applied Herpetology* 4: 65-82.
- Langbein W. B., and S. A. Schumm.** 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *American Geophysical Union Transactions* 39: 1076-1084.
- Lee A. E.** 2006. Economic crisis and the incorporation of new migrant sending areas in Mexico: The case of Zapotitlán Salinas, Puebla. *CCIS, University of California, San Diego*. Working Paper 136: 1-28.
- Lee A. E.** 2008. "Para salir adelante": The Emergence and Acceleration of International Migration in New Sending Areas of Puebla, Mexico. *Journal of Latin American and Caribbean Anthropology* 13: 48-78.
- Le Houérou H. N.** 1982. The arid bioclimates in the Mediterranean isoclimatic zone. In P. Quézel (ed). *Ecologia Meditteranea*, Tomo VIII. Scientific Affairs Division, NATO. pp. 103-114.
- Lieberman S. S.** 1986. Ecology of the leaf litter herpetofauna of a Neotropical rain forest: La Selva, Costa Rica. *Acta Zoologica Mexicana* 15: 1-71.
- Liggins G. W., and G. C. Grigg.** 1985. Osmoregulation of the cane toad, *Bufo marinus*, in salt water. *Comparative Biochemical and Physiology A* 82: 613-619.
- Lima A.P., and W. E. Magnusson.** 2000. Does foraging activity change with ontogeny? An assessment for six sympatric species of postmetamorphic litter anurans in Central Amazonia. *Journal of Herpetology* 34: 192-200.
- Limbaugh B. A., and E. P. Volpe.** 1957. Early development of the golf coast toad *Bufo valliceps* Wiegman. *American Museum Novitates* 1842: 1-32.
- Lips K. R., F. Brem, R. Brenes, J. D. Reeve, R. A. Alford, J. Voyles, C. Carey, L. Livo, A. P. Pessier, and J. P. Collins.** 2006. Emerging infectious disease and loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 1661-1666.
- Lomolino M. V., B. R. Riddle, and J. H. Brown.** 2006. *Biogeography*. Sinauer Associates Inc. 3<sup>th</sup> edition. Sunderland, Massachusetts, USA. 845 pp.
- López-Galindo F., D. Muñoz-Iniestra, M. Hernández-Moreno, A. Soler-Aburto, M. C. Castillo-López, e I. Hernández-Arzate.** 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y degradación del suelo en la subcuenca de Zapotitlán salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 56: 19-41.

- Love D. W.** 1992. Rapid adjustment of the Rio Puerco to meander cutoff: implications for effective geomorphic processes, crossing thresholds and timing of events. *New Mexico Geological Society Guidebook*. 43<sup>rd</sup> Conference 4: 399-405.
- Lynch J. D.** 1985. Mimetic and non-mimetic populations of *Eleutherodactylus gaigeae* (Dunn) in lower Central America and Colombia (Amphibia, Anura: Leptodactylidae). *Stud. Neotropical Fauna and Environment* 20: 195-202.
- MAB (Man and Biosphere).** 1979. Map of the world distribution of arid regions. MAB technical notes 7. UNESCO. París, France. 52 pp.
- Macklin M. G., B. T. Rumsby, and T. Heap.** 1992. Flood alluviation and entrenchment: Holocene valley-floor development and transformation in the British uplands. *Geological Society of America Bulletin* 104: 631-643.
- MacNeish R. S.** 1967. An interdisciplinary approach to an archaeological problem. In D. S. Byers (ed). *The prehistory of the Tehuacan Valley*. Vol. 1. University of Texas Press. Austin Texas USA. pp 14-24.
- Maderey L. E.** 1972. Balance hidrológico de la cuenca del Río Tizar durante el periodo 1967-1968. Instituto de Geografía, UNAM. 133 pp.
- Manly B. F. J.** 2005. *Multivariate Statistical Methods*. Chapman and Hall/CRC Press. 3<sup>th</sup> edition. Boca Raton, Florida. USA. 214 pp.
- Marco A., and A. R. Blaustein.** 1999. The effects of nitrite on behavior and metamorphosis in Cascade Frogs (*Rana cascadae*). *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 946-949.
- Markow J. T.** 1997. The presence of Fowler's toads, *Bufo fowleri*, in brackfish ponds on cape cod, Massachusetts. M. S. Thesis. University of Connecticut. Connecticut, USA. 98 pp.
- Marsh D. M., and B. J. Borrell.** 2001. Flexible oviposition strategies in túngara frogs and their implications for tadpole spatial distributions. *Oikos* 93: 101-109.
- Martín del Campo R., y O. Sánchez-Herrera.** 1979. Estudio herpetofaunístico de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. *Biología de Campo*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mata-Silva V.** 2000. Estudio comparativo del ensamble de anfibios y reptiles en dos localidades de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 62 pp.

- Mayer L.** 1985. Tectonic geomorphology of the Basin and Range Colorado Plateau boundary in Arizona. In M. Morisawa and J. T. Hack (eds). Tectonic geomorphology. Allen and Unwin Press. Boston, Massachusetts, USA. Pp. 235-259.
- McCallum M. L.** 2007. Amphibian decline or extinction? Current declines dwarf background extinction rate. *Journal of Herpetology* 41: 483-491.
- McDiarmid R. W., and R. Altig** (eds). 1999. Tadpoles: The biology of anuran larvae. University of Chicago Press. Chicago. IL. U.S.A. 444 pp.
- Meade R. H., T. R. Yuzyk, and T. J. Day** .1990. Movement and storage of sediment in rivers of the United States and Canada. In M. G. Wolman, and H. C. Riggs (eds). Surface water hydrology: The geology of North America. Geological Society of America. New York, USA. pp 255-280.
- Mendelson J. R., and J. A. Campbell.** 1994. Two new species of the *Hyla sumichrasti* group (Amphibia: Anura: Hylidae) from Mexico. *Proc. Biol. Soc. Washington* 107 (2): 398-409.
- Miyamoto M. M.** 1982. Vertical habitat use by *Eleutherodactylus* frogs (Leptodactylidae) at two Costa Rican localities. *Biotropica* 14: 141-144.
- Molina A. H., B. J. Delgado, y A. O. Aztatzi.** 2005. Crecimiento y sobrevivencia de larvas de sapo *Bufo occidentalis* a diferentes densidades en condiciones de Laboratorio. Memorias del VII Congreso Latinoamericano de Herpetología. Cuernavaca, Morelos, México.
- Montoya-Ayala R.** 2000. Planificación Física con base Ecológica del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. CONACYT.
- Montoya-Ayala R., D. Muñoz-Iniestra, F. López-Galindo, y E. Benavides-Garduño.** 2004. Uso de un SIG para la elaboración de una propuesta de conservación y restauración hidrológico-forestal de las terrazas aluviales de Zapotitlán de las Salinas en la Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán, México. En C. Conesa García, Y. Álvarez Rigel, y J. B. Martínez-Guevara (eds). Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: Análisis mediante tecnología SIG y teledetección Vol. 1. AGE-Universidad de Murcia. Murcia, España. pp. 113-125.
- Montoya-Ayala R., J. C. García-Palomares, y J. Padilla-Ramírez.** 2004. Utilización de un SIG para la determinación del impacto ambiental generado por las actividades agrícolas, ganaderas e industriales: El caso del Valle de Zapotitlán Salinas en la Reserva de la Biosfera de Tehuacan-Cuicatlán. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 38: 115-129.
- Morey S., and D. Reznick.** 2001. Effects of larval density on postmetamorphic spadefoot (*Spea hammondi*). *Ecology* 82: 510-522.

- Morrison C., and J. M. Hero.** 2003. Geographic variation in life-history characteristics of amphibians: a review. *Journal of Animal Ecology* 72: 270-279.
- Neri-Gómez, D. C.** 2000. Caracterización hidrológica de la subcuenca baja del Río Zapotitlán, Puebla. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 85 pp.
- 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.
- Nieto-Samaniego, A. F., S. A. Alaniz-Álvarez, F. Ortega-Gutiérrez.** 1995. Estructura interna de la falla de Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad cenozoica. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 12: 1-8.
- Noland R., and G. R. Ultsch.** 1981. The roles of temperature and dissolved oxygen in microhabitat selection by the tadpoles of a frog (*Rana pipiens*) and a toad (*Bufo terrestris*). *Copeia* 1981: 645-652.
- Ohmori H.** 1992. Dynamics and erosion rate of the river running on a thick deposit supplied by a large landslide. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 36: 129-140.
- Oliver-López L.** 2000. Estado actual del género *Bufo* (Familia: Bufonidae) en la Colección de Anfibios y Reptiles (C. N. A. R.) y otras colecciones herpetológicas de México. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. 134 pp.
- 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 en Ciencias Biológicas. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 41 pp.
- Oliver-López L., y A. Ramírez-Bautista.** 2002. Algunos aspectos de la Ecología reproductiva y desarrollo larvario en un grupo de anuros del municipio de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Memorias de la VII Reunión Nacional de Herpetología, realizada del 25 al 28 de Noviembre en Guanajuato, Guanajuato.
- Oliver-López L., A. Ramírez-Bautista, and J. A. Lemos Espinal.** 2000. *Bufo occidentalis*. Fecundity. *Herpetological Review* 31: 39-40.
- Oliver-López L., G. A. Woolrich-Piña, y J. A. Lemos-Espinal.** 2009. La familia bufonidae en México. UNAM-CONABIO. México. 139 pp.

- Ortiz M. E., A. Marco, N. Saiz, and M. Lizana.** 2004. Impact of ammonium nitrate on growth and survival of six European amphibians. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 47: 234-239.
- Osorio B. O., A. Valiente Banuet, P. Dávila, y R. Medina.** 1996. Tipos de vegetación y diversidad  $\beta$  en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59: 35-58.
- Ouchi S.** 1985. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Bulletin of the Geological Society of America* 96: 504-515.
- Ovaska K. E., and W. Hunte.** 1992. Male mating behavior of the frog *Eleutherodactyllus johnstonei* (Leptodactylidae) in Barbados, West Indies. *Herpetologica* 48: 40-49.
- Parmelee J. R.** 1999. Trophic ecology of a tropical anuran assemblage. *Sci. Pap. Nat. His. Mus. Univ. Kansas* 11: 1-59.
- Parris M. J.** 2000. Experimental analysis of hybridization in leopard frogs (Anura: Ranidae) larval performance in dessicating environments. *Copeia* 2000: 11-19.
- Peltzer P.M., and R. C. Lajmanovich.** 2004. Anuran tadpole assemblages in riparian areas of the Middle Paraná River, Argentina. *Biodiversity Conservation* 13: 1833-1842.
- Pérez S. E., y T. A. Altamirano-Álvarez.** 2005. Hábitos alimentarios de la lagartija *Sceloporus torquatus* (Reptilia: Phrynosomatidae). Memorias del VII Congreso Latinoamericano de Herpetología. Cuernavaca, Morelos, México.
- Pianka E. R.** 1966. Convexity, desert lizards and spatial heterogeneity. *Ecology* 47: 1055-1059.
- Pianka E. R.** 1973. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematic* 4: 53-74.
- Pianka E. R.** 1975. Niche relations of desert lizards. In Cody M. L., and J. M. Diamond (eds.). *Ecology and evolution of communities*. Harvard. University Press. Massachusetts, USA. Pp 292-314.
- Pianka E. R.** 1986. *Evolutionary Ecology*. Addison Wesley Educational Publishers. 6<sup>th</sup> edition. San Francisco California, USA. 512 pp.
- Pilgrim D. H., T. C. Chapman, and D. G. Donan.** 1988. Problems of rainfall-runoff modelling in arid and semiarid regions. *Hydrology Science Journal* 33: 379-400.
- Porporato A., and I. Rodríguez-Iturbe.** 2002. Ecohydrology: a challenging multidisciplinary research perspectiva. *Hydrology Science Journal* 47: 811-821.



- Pounds J. A. M. R. Bustamante, L. A. Coloma, J. A. Consuegra, M. P. L. Fogden, P. N. Foster, E. La Marca, K. L. Masters, A. Merion-Viteri, R. Puschendorf, S. R. Ron, G. A. Sánchez-Azofeifa, C. J. Still, and B. E. Young.** 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439: 161-167.
- Poynton J. C., and S. Pritchard.** 1976. Notes on the biology of *Breviceps* (Anura: Microhylidae). *Zoology African* 11: 313-318.
- Prosser I. P., and C. J. Slade.** 1994. Gully formation and the role of valley-floor vegetation, southeastern Australia. *Geology* 22: 1127-1130.
- Quézel P., and M. Barbero.** 1982. Definition and characterization of Mediterranean type ecosystems. In P. Quézel (ed). *Ecologia Meditteranea*, Tomo VIII. Scientific Affairs Division, NATO. pp. 15-29.
- Ramos-Aguilar R., y A. Aguilar-Mora.** 2006. Modelación del comportamiento de las isotermas, isoyetas y cálculo de la radiación solar para el estado de Puebla. *Temas* (enero-abril): 61-64.
- Reid J. B. Jr.** 1992. The Owens River as a tiltmeter for Long Valley Caldera, California. *Journal of Geology* 100: 353-363.
- Richards C. M.** 1958. The inhibition of crowd in *Rana pipiens* tadpoles. *Physiological Zoology* 31: 31: 138-151.
- Richardson B. A.** 1999. The bromeliad microcosm and the assessment of faunal diversity in a Neotropical forest. *Biotropica* 31: 321-336.
- Rios-Lopez N.** 2008. Effects of increased salinity on tadpoles of two anurans from a Caribbean coastal wetland in relation to their natural abundance. *Amphibia-Reptilia* 29: 7-18.
- Ritcher-Boix A., A. G. Llorente, and A. Montori.** 2004. Responses to competition effects of two anuran tadpoles according to life-history traits. *Oikos* 106: 39-50.
- Robertson J. G. M.** 1986. Territoriality, fighting and assessment of fighting ability in the Australian frog *Uperoleia rugosa*. *Animal Behavior* 34: 763-772.
- Rodríguez-Iturbe I., and A. Porporato.** 2005. Ecohydrology of water controlled ecosystems: soil moisture and plant dynamics. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 204 pp.
- Rohr J. R., and P. W. Crumrine.** 2005. Effects of an herbicide and an insecticide on pond community structure and processes. *Ecological Applications* 15: 1135-1147.
- Roth G.** 1987. Visual behaviour in salamanders. Springer-Verlag. New York. USA. 187 pp.
- Ruibal R.** 1959. The ecology of a brackish water population of *Rana pipiens*. *Copeia*. 4: 313-322.

- Rubial R.** 1962. Osmoregulation in amphibians from heterosaline habitats. *Physiological Zoology* 35: 133-147.
- Rzedowski J.** 2006. Vegetación de México. 1ª edición digital. CONABIO. D. F. México. 504 pp.
- Sadinski W.J., and W.A. Dunson.** 1992. A multilevel study of effects of low pH on amphibians on temporary ponds. *Journal of Herpetology* 26: 413-422.
- Santos Barrera G.** 1995. Taxonomía de *Bufo occidentalis* Camerano, 1879 (Anura: Bufonidae) en México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias UNAM. 62 pp.
- Schoener T. W.** 1974. Resource partitioning in ecological communities. *Science* 185: 27-39.
- Schumm S. A.** 2005. River variability and complexity. Cambridge University Press. New York, USA. 220 pp.
- 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: 1003-1008.
- Semlitsch R. D.** 2003. Amphibian Conservation. Smithsonian Institution Press. Washington, USA. 324 pp.
- Semlitsch R., and J. P. Caldwell.** 1982. Effects of Density of Growth, Metamorphosis, and survivorship of tadpoles of *Scaphiopus holbrooki*. *Ecology* 63: 905-911.
- Semlitsch R. D., D. E. Scott, and J. Pechmann.** 1988. Time and size at metamorphosis related to adult fitness in *Ambystoma talpoideum* *Ecology* 69: 184-192.
- Serrano-Cardozo V.** 2007. Estructuración del ensamble de lagartijas de Zapotitlán de las Salinas Puebla. Tesis de doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 95 pp.
- Shine R., and M. Wall.** 2007. Why is intraspecific variation in foraging biology more common in snakes than in lizards? In: S. M. Reilly, L. B. McBrayer, and D. B. Miles (eds). Lizard ecology: The evolutionary consequences of foraging modes. Cambridge University Press. New York, USA. pp. 173-208.
- Shreve R. L.** 1975. The probabilistic-topologic approach to drainage basin geomorphology. *Geology* 3: 527-529.
- Sinervo B., and colaboradores.** 2010. Erosion of lizard diversity by climatic change and altered thermal niches. *Science* 328: 894-899.

- Sites J. W. Jr.** 1978. The foraging strategy of the dusky salamander, *Desmognathus fuscus* (Amphibia: Urodela: Plethodontidae): An empirical approach to predation theory. *Journal of Herpetology* 12: 373-383.
- Skelly D. K.** 1996. Pond drying, predators, and the distribution of *Pseudacris* tadpoles. *Copeia* 1996: 599-605.
- Skelly D. K., and E. E. Werner.** 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.
- Smith G. R., K. G. Temple, H. A. Dingfelder, and D. A. Vaala.** 2006. Effects of nitrate on the interactions of the tadpoles of two ranids (*Rana clamitans* and *R. catesbeiana*). *Aquatic Ecology* 40: 125-130.
- Smith G. R., K. G. Temple, D. A. Vaala, and H. A., Dingfelder.** 2005. Effects of nitrate on the tadpoles of two ranids (*Rana catesbaiana* and *R. clamitans*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 49: 559-562.
- Smith H. M., and E. W. Taylor.** 1948. An annotated checklist and key to the amphibia of Mexico. *Bull. National Museum U. S.* (194): 1-118.
- Smith M. J., E. S. G Schreiber, M. P. Scroggie, M. Kohout, K. Ough, J. Potts, R. Lennie, D. Turnbull, C. Jin, and T. Clancy.** 2007. Associations between anuran tadpoles and salinity in a landscape mosaic of wetlands impacted by secondary salinisation. *Freshwater Biology* 52: 75-84.
- Smith R. C.** 2001. Mexicans: Social, Educational, Economic, and Political Problems and Prospects in New York. In *New Immigrants in New York*. Columbia University Press. New York, U.S.A. pp. 275-300.
- Sokal R. E., and F. J. Rohlf.** 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W. H. Freeman and company. 3<sup>th</sup> edition. New York, USA. 887 pp.
- Sokolov V., and G. Halfter.** 1992. The desert as a habitat and arena for evolution. In V. Sokolov, G. Halfter, and A. Ortega-Rubio (eds). *Vertebrate ecology in arid zones of Mexico and Asia*. Instituto de Ecología A. C., Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur A. C., and MAB UNESCO Co edition. México. pp 9-16.
- Squires Z. E., P. C. E. Bailey, R. D. Reina, and B. B. M Wong.** 2008. Environmental deterioration increases tadpole vulnerability to predation. *Biology Letters* 4: 392-394.

- Stebbins R. C.** 1985. A field guide to western reptiles and amphibians. The Peterson Field Guide Series. 2a ed. Houghton Mifflin. Boston. MA., U.S.A. 133 pp.
- Stebbins R. C., and N. W. Cohen.** 1995. A natural history of amphibians. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. USA. 316 pp.
- Stewart M. M.** 1985. Arboreal habitat use and parachuting by a subtropical forest frog. *Journal of Herpetology* 19: 391-401.
- Strahler A. N.** 1952. Dynamics basis of geomorphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 63: 923-938.
- Stuart S. N., J. S. Chanson, N. A. Cox, B. E. Young, A. S. L. Rodrigues, D. L. Fichman, and R. W. Waller.** 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science* 306: 1783-1786.
- Tews J., U. Brose, V. Grimm, K. Tielborger, M. C. Wichmann, M. Schwager, and F. Jeltsch.** 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31: 79-92.
- Thompson W. L., G. C. White, and C. Gowan.** 1998. Amphibians and Reptiles, Chapter 8: Monitoring vertebrate populations. Academic Press Inc. pp. 233-260.
- Toft C. A.** 1980a. Feeding ecology of thirteen syntopic species of anurans in a seasonal tropical environment. *Oecologia* 45: 131-141.
- Toft C. A.** 1980b. Seasonal variation in populations Panamanian litter frogs and their prey: A comparison of wetter and drier sites. *Oecologia* 47: 34-38.
- Toft C. A.** 1981. Feeding ecology of Panamanian litter anurans ; Patterns in diet and foraging mode. *Journal of Herpetology* 15: 130-144.
- Travis J.** 1984. Anuran size at metamorphosis: experimental test of a model based on intraspecific competition. *Ecology* 65: 1155-1160.
- Troeh F. R.** 1965. Landform equations fitted to contour maps. *American Journal of Science* 263: 616-627.
- Turc L.** 1951. Nouvelle formule pour le calcul bilan de l'eau en fonction des valeurs moyennes annuelles des précipitations et de la température. *C. R. Acad. Sci. (Paris)* 230: 633-635.
- Turc L.** 1961. Évaluation des besoins en eau d'irrigation évapotranspiration potentielle. *Annuel Agronomie* 12: 13-49.
- Tyler, M. J., R. Wassersug, and B. Smith.** 2007. How frog and humans interact: Influences beyond habitat destruction, epidemics and global warming. *Applied Herpetology* 4:1-18.

- Uchiyama M., and H. Yoshizawa.** 1992. Salinity tolerance and structure of the external and internal gills in tadpoles of the crab-eating frog, *Rana cancrivora*. *Cell Tissue Research* 267: 35–44.
- Uchiyama M. S., T. Murakami, and H. Yoshizawa.** 1990. Notes on the development of the crab-eating frog (*Rana cancrivora*). *Zoological Science* 7: 73-78.
- Ultsch G. R., D. F. Bradford, and J. Freda.** 1999. Physiology: Coping with the Environment. In R.W. McDiarmid and R. Altig (eds). *Tadpoles: The Biology of Anuran Larvae*. Univ. Chicago Press, Chicago, Illinois. USA. pp. 189-214.
- UNESCO.** 2006. Water a shared responsibility. United Nations Water Development. Report 2.
- Valiente-Banuet A., A. Casas, A. Alcántara, P. Dávila, N. Flores-Hernández, M. Arizmendi, J. L. Villaseñor, y J. Ortega Ramírez.** 2000. La Vegetación del Valle de Tehuacan-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67: 24-74.
- Valiente-Banuet A., L. Solís, P. Dávila, M. Arizmendi, C. Silva, J. Ortega-Ramírez, J. Treviño-Carreón, S. Rangel-Landa, A. Casas.** 2009. Guía de la vegetación del Valle de Tehuacan-Cuicatlán. Coedición UNAM-CONABIO-INAH-UATamps-FRBTC. México. 206 pp.
- Vandaele P. J., G. Govers, and B. Van Wesemael .**1996. Geomorphic treshold conditions for ephemeral gully incision. *Geomorphology* 16: 161-173.
- Villaseñor J. L., P. Dávila, y F. Chiang.** 1990. Fitogeografía del Valle de Tehuacan-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 50: 135-149.
- Warren Y. B.** 1969. An analisis of density effects and predation in *Bufo americanus* tadpoles. *Ecology* 50: 632-644.
- Way D. S., et al.** 1978. The interaction between urbanization and land. Quality and quantity in environmental planning and design. Graduate School of Design. Harvard University. Cambridge, Massachussetts. USA.
- Warner S. C., J. Travis, and W. A. Dunson.** 1993. Effect of pH variation on intraspecific competition between two species of Hylid tadpoles. *Ecology* 74: 183-194.
- Welch N. E., and J. A. Macmahon.** 2005. Identifying habitat variables important to the rare Columbia spotted frog in Utah (USA): an information-theoretic approach. *Conservation Biology* 19:473-481.
- Wells K. D.** 2007. The ecology and behavior of amphibians. University of Chicago Press. Chicago, Illionois. USA. 1148 pp.

- Wenger K. F.** 1984. *Forestry Handbook*. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley and Sons. New York, USA. 1335 pp.
- Wilbur H. M.** 1976. Density dependent aspects of metamorphosis in *Ambystoma* and *Rana sylvatica*. *Ecology* 57: 1289–1296.
- Wilbur H. M.** 1977a. 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.** 1982. Competition between tadpoles of *Hyla femoralis* and *Hyla gratosa* in laboratory experiments. *Ecology* 63: 278–282.
- Williams G. P., and M. G. Wollman.** 1984. Downstream effects of dams on alluvial rivers. U. S. Geological Survey Professional. Paper No. 1286. 38 pp.
- Winkley B. R.** 1994. Response to the lower Mississippi River to flood control and navigation improvements. In S. A. Schumm, and B. R. Winkley (eds). *The variability of large alluvial rivers*. American Society of Civil Engineers. New York, USA. pp 45-74.
- Woolrich-Piña G. A.** 2007. Algunos factores geográficos y ecológicos que determinan la distribución del ensamble de lagartijas que habitan en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla: un enfoque de conservación. Tesis de Maestría en Geografía. Instituto de Geografía. UNAM.
- Woolrich-Piña G. A., G. R. Smith, L. Oliver-López, M. Barbosa-Morales, and J. A. Lemos-Espinal.** 2010. Factors influencing the distribution of *Poeciliopsis fasciata* along the Río Salado (Puebla, Mexico). *Journal of Freshwater Ecology* 25 (1): 127-133.
- Woolrich-Piña G. A., J. A. Lemos-Espinal, L. Oliver-López, J. E. González-Espinoza, y F. Correa-Sánchez.** 2003a. Diferencias y similitudes en la termorregulación de dos lagartijas de pared. *Sceloporus gadoviae* (Phrynosomatidae) y *Phyllodactylus bordai* (Gekkonidae) que habitan en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. Memorias del XVII Congreso Nacional de Zoología, Puebla, Puebla.
- Woolrich-Piña G. A., J. E. González-Espinoza, J. A. Lemos-Espinal y L. Oliver-López.** 2003b. Ecología térmica de dos poblaciones simpátricas de las lagartijas *Aspidoscelis parvisocia* y *A. sackii* (Teiidae) que habitan en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. Memorias del XVII Congreso Nacional de Zoología, Puebla, Puebla.

- Woolrich-Piña G. A., L. Oliver-López, y J. A. Lemos-Espinal.** 2005. Anfibios y reptiles del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. U.N.A.M.- CONABIO. México. 54pp.
- Wright H. A., and A. A. Wright.** 1949. Handbook of frogs and toads of the USA and Canada. Comstock Publishing Associates; Cornell University Press. U.S.A. pp: 287-294.
- Zaldívar-Riveron A., V. León-Regagnon, and A. Nieto-Montes de Oca.** 2004. Phylogeny of the mexican coastal leopard frog of the *Rana berlandieri* group based on mt DNA sequences. *Mol. Phyl. Evol.* 30:38-49.
- Zaslavsky D., and G. Sinai.** 1981. Surface hydrology: I Explanation to phenomena. *Journal of the American Society of Civil Engineers* (Hydrology Division) 1: 1-18.
- Zweifel R. G.** 1968. Reproductive biology of anurans of arid southwest, with emphasis on adaptation of embryos to temperature. *Bull. Am. Mus. Nat. His.* 140: 1-57.

# ANEXO I



SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL														NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000		
ESTACION: 00021010 ALTEPEXI, ALTEPEXI														LATITUD: 18°26'27" N.	LONGITUD: 097°17'27" W.	ALTITUD: 1,230.0 MSNM.
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL			
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>																
NORMAL	27.8	30	33.9	35.2	35.3	32.4	30.9	31	30.2	29.7	28.6	27.6	31.1			
MAXIMA MENSUAL	30.3	32.3	37.4	38.5	40.9	35.3	35.1	33.6	33.2	32.8	31.6	30.3				
AÑO DE MAXIMA	1974	1988	1973	1984	1974	1983	1974	1974	1987	1972	1972	1987				
MAXIMA DIARIA	36	39	42	44	45	39.5	39	38	38.5	38	35.5	36				
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>																
NORMAL	19.2	20.7	23.7	25.5	26.3	24.8	23.5	23.5	23.2	22.1	20.7	19.5	22.7			
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>																
NORMAL	10.6	11.4	13.6	15.9	17.2	17.3	16.1	15.9	16.2	14.5	12.7	11.4	14.4			
MINIMA MENSUAL	8.9	9.8	4.2	13	13.8	12.9	12.1	12.9	13.4	12.5	130.3	8.1				
MINIMA DIARIA	3	2	2	6	10	7.5	9.5	2.5	10	8.5	4	1				
<b>PRECIPITACION</b>																
NORMAL	5.2	4.4	3.4	9.7	35.8	76.6	49.1	41.9	61	13.2	3	1.4	304.7			
AÑO DE MAXIMA	1992	1983	1983	1979	1975	1973	1976	1975	1984	1971	1983	1992				
MAXIMA DIARIA	25	23.8	20.5	24.5	51	56	42.5	42.5	60	36.5	20.5	6				
<b>EVA PORACION TOTAL</b>																
NORMAL	126.4	156.3	206	214.3	210.1	175	166.3	169.7	146.6	161.7	135.1	124	1991.5			
<b>DIAS CON LLUVIA</b>																
NORMAL	0.8	0.9	1.1	1.9	4.5	7.9	8	6.6	7.8	2.9	0.6	0.5	43.5			
AÑOS CON DATOS	21	22	22	22	22	21	21	20	22	20	21	22				
<b>NIEBLA</b>																
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
AÑOS CON DATOS	21	22	22	22	22	21	21	20	22	20	21	22				
<b>GRANIZO</b>																
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3			
AÑOS CON DATOS	21	22	22	22	22	21	21	20	22	20	21	22				
<b>TORRENTA E.</b>																
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	0.3	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	1.4			
AÑOS CON DATOS	21	22	22	22	22	21	21	20	22	20	21	22				

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000													
ESTACION: 00021002 ACATEPEC, CALTEPEC													
LATITUD: 18°15'24" N. LONGITUD: 097°35'15" W. ALTITUD: 2,035.0 MSNM.													
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>													
NORMAL	20.7	22.3	25.2	26.8	26.6	24	22.6	22.9	22	21.8	21.6	20.7	23.1
MAXIMA MENSUAL	23.4	24.1	28.7	30.1	30.3	27.3	26	24.9	24.2	23.8	24.3	23.8	
AÑO DE MAXIMA	1982	1995	1991	1998	1983	1983	1980	1996	1982	1995	1988	1995	
MAXIMA DIARIA	28	34	33	34	35	33	29	29	27.5	29	28	29	
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>													
NORMAL	13.5	14.7	17.0	18.7	19.3	18.1	17.0	17.3	16.8	16.1	15.0	13.8	16.4
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>													
NORMAL	6.4	7.0	8.9	10.6	12.2	11.5	11.6	11.6	10.3	8.4	7.0	9.8	
MINIMA MENSUAL	4.3	5.0	7.1	8.3	10.2	11.0	10.1	10.2	10.0	9.1	6.2	4.5	
AÑO DE MINIMA	1996	1998	1989	1996	1992	1994	1994	1991	1994	1999	1996	1996	
MINIMA DIARIA	0.0	0.0	0.0	4.0	6.0	1.5	7.0	1.0	7.0	3.0	1.0	0.0	
<b>PRECIPITACION</b>													
NORMAL	5.5	5.2	10.2	22.5	60.4	147.8	76.1	80.7	101	37.8	5.7	5.3	558.2
AÑO DE MAXIMA	1992	1983	1983	1980	1981	1981	1979	1980	1974	1971	1997	1995	
MAXIMA DIARIA	29.2	17.5	38.0	41.0	73.5	90.5	89.4	69.5	71.0	58.0	25.4	22.0	
MAXIMA MENSUAL	62.6	28	43.9	85.5	167.5	297.4	225.3	326.7	278.3	184.9	36.9	61.8	
<b>EVA PORACION TOTAL</b>													
NORMAL	142.5	151.8	199.0	220.7	209.8	180.3	163.9	167.1	154.4	157.8	144.4	139.0	2030.7
<b>DIAS CON LLUVIA</b>	0.9	0.9	1.5	2.5	6.5	10.5	6	6.4	7.9	3.7	1.1	0.7	48.6
AÑOS CON DATOS	27	28	27	27	24	26	26	26	27	25	27	27	
<b>NIEBLA</b>	8.6	5.7	3.4	1.9	1.4	4.8	6	7.1	12.1	10.9	9.5	9.7	81.1
AÑOS CON DATOS	27	28	27	27	24	26	26	26	27	25	27	27	
<b>GRANIZO</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
AÑOS CON DATOS	27	28	27	27	24	26	26	26	27	25	27	27	
<b>TORRENTA E.</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	1.0
AÑOS CON DATOS	27	28	27	27	24	26	26	26	27	25	27	27	

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000
ESTACION: 00021019 CALTEPEC, CALTEPEC	LATITUD: 18°12'09" N.				LONGITUD: 097°27'09" W.				ALTITUD: 2,016.0 MS NM.				
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>													
NORMAL	24.9	26.0	29.1	30.2	29.8	27.0	25.8	26.3	25.7	25.6	25.5	24.8	26.7
MAXIMA MENSUAL	27.6	27.9	31.7	34.4	34.3	31.0	29.7	30.0	28.5	28.8	28.9	27.7	
AÑO DE MAXIMA	1987	2000	1973	1998	1998	1998	1997	1999	1997	1987	2000	1987	
MAXIMA DIARIA	31	33	39	37	39	35	31	36	31	32	36	32	
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>													
NORMAL	15.5	16.5	19.2	20.8	21.2	20.0	19.1	19.2	18.9	18.0	17.0	15.9	18.4
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>													
NORMAL	6.1	7.0	9.4	11.5	12.5	13.0	12.4	12.1	12.2	10.5	8.5	6.9	10.2
MINIMA MENSUAL	3.9	4.0	6.6	9.5	10.5	11.6	10.7	10.3	9.2	7.7	6.5	4.6	
AÑO DE MINIMA	1999	1976	1999	1971	2000	1977	2000	2000	1996	1974	1981	1975	
MINIMA DIARIA	-3.0	-4.0	1.0	1.0	1.2	8.0	4.0	8.0	6.0	3.0	1.0	-2.0	
<b>PRECIPITACION</b>													
NORMAL	4.3	4.6	4.9	17.4	44.4	103.2	51.7	47.2	81.3	28.2	5.8	1.6	394.6
MAXIMA MENSUAL	52.0	35.7	33.3	75.6	109.0	244.4	173.3	204.8	317.7	169.2	38.6	19.7	
AÑO DE MAXIMA	1992	1983	1983	2000	1992	1981	1976	1981	1998	1999	1992	1989	
MAXIMA DIARIA	18.2	27.6	28.6	38.2	33.6	88.7	55.4	81.2	52.6	47.0	21.2	16.0	
<b>EVA PORACION TOTAL</b>													
NORMAL													
AÑOS CON DATOS													
<b>DIAS CON LLUVIA</b>	0.7	0.6	0.8	2.5	6.2	9.2	6.7	5.8	7.6	3.2	1.0	0.3	44.6
AÑOS CON DATOS	26	27	27	27	26	26	24	26	27	26	27	27	
<b>NIEBLA</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	26	27	27	27	26	26	24	26	27	26	27	27	
<b>GRANIZO</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
AÑOS CON DATOS	26	27	27	27	26	26	24	26	27	26	27	27	
<b>TORRENTA E.</b>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
AÑOS CON DATOS	26	27	27	27	26	26	24	26	27	26	27	27	

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000	
ESTACION: 00021075 SAN LORENZO, TEHUACAN			LATITUD: 18°29'41" N.			LONGITUD: 097°26'41" W.			ALTITUD: 1,720.0 MS NM.					
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>														
NORMAL	24.5	25.8	29.8	30.6	30.9	28.0	26.9	27.3	26.8	26.2	25.4	24.5	27.2	
MAXIMA MENSUAL	26.0	27.6	32.9	32.9	32.7	30.3	28.5	29.5	29.8	28.2	27.0	26.2		
AÑO DE MAXIMA	1977	1975	1973	1984	1983	1983	1979	1977	1977	1977	1972	1978		
MAXIMA DIARIA	31.0	33.0	36.5	37.0	36.0	35.0	38.0	32.0	32.0	33.0	30.5	31.0		
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>														
NORMAL	15.1	16.3	19.5	21.0	22.1	20.8	19.8	19.8	19.9	18.5	16.9	15.7	18.8	
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>														
NORMAL	5.8	6.8	9.3	11.3	13.3	13.7	12.7	12.4	13.0	10.9	8.5	6.9	10.4	
MINIMA MENSUAL	4.0	3.7	7.5	8.7	11.6	12.7	11.3	11.2	11.6	8.8	6.4	4.9		
AÑO DE MINIMA	1971	1976	1971	1971	1971	1982	1975	1974	1975	1974	1981	1975		
MINIMA DIARIA	-2.0	-5.0	-3.0	1.0	7.0	8.0	6.5	6.0	5.0	3.0	-1.0	-1.0		
<b>PRECIPITACION</b>														
NORMAL	2.6	8.4	10.0	19.6	62.7	102.0	88.8	45.8	89.8	17.6	5.0	1.5	453.8	
MAXIMA MENSUAL	22.6	32.2	37.7	89.9	187.7	227.1	299.0	140.6	309.8	67.1	29.8	9.8		
AÑO DE MAXIMA	1984	1983	1974	1979	1975	1981	1976	1980	1979	1976	1983	1977		
MAXIMA DIARIA	16.4	17.3	22.1	31.1	60.3	114.6	69.1	57.2	70.2	30.6	18.3	8.8		
<b>EVA PORACION TOTAL</b>														
NORMAL	143.7	160.7	228.4	232.6	223.4	183.4	181.0	188.2	160.3	158.2	139.1	132.0	2,131.0	
<b>DIAS CON LLUVIA</b>	0.6	1.6	1.8	3.2	7.9	10.9	9.5	7.1	10.4	3.6	1.6	1.0	59.2	
AÑOS CON DATOS	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14		
<b>NIEBLA</b>	0.6	0.4	0.0	0.1	0.2	0.3	1.0	0.7	0.9	0.9	0.5	0.3	5.9	
AÑOS CON DATOS	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	13	14		
<b>GRANIZO</b>	0.0	0.0	0.1	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	
AÑOS CON DATOS	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	13	14		
<b>TORRENTA E.</b>	0.0	0.1	0.4	0.9	1.1	1.6	0.9	0.6	1.1	1.1	0.1	0.0	7.9	
AÑOS CON DATOS	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	13	14		

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL		NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000											
ESTACION: 00021083 TEHUACAN, TEHUACAN		LATITUD: 19°34'06" N.				LONGITUD: 097°34'06" W.				ALTITUD: 1,705.0 MSNM.			
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>													
NORMAL	23.3	24.9	28.0	29.6	29.7	27.1	25.4	26.1	25.7	24.6	24.1	23.1	26.0
MAXIMA MENSUAL	26.7	26.9	32.1	32.5	34.0	31.7	28.3	29.1	29.4	26.7	26.5	25.0	
AÑO DE MAXIMA	1989	1994	1973	1998	1998	1998	1994	1986	1987	1972	1989	1978	
MAXIMA DIARIA	31.0	34.0	35.0	39.0	39.0	36.0	34.0	33.0	34.0	32.0	32.0	32.0	
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>													
NORMAL	14.4	15.7	18.4	20.3	21.1	20.1	18.7	19.1	19.0	17.6	16.2	15.0	18.0
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>													
NORMAL	5.5	6.5	8.8	10.9	12.4	13.1	12.0	12.0	12.3	10.5	8.2	6.9	9.9
MINIMA MENSUAL	3.0	3.9	6.2	9.0	11.1	11.5	10.6	10.3	11.2	7.0	5.4	3.8	
AÑO DE MINIMA	1986	1976	1989	1971	1983	1982	1994	1982	1985	1987	1981	1980	
MINIMA DIARIA	-5.0	-5.0	-4.0	1.5	5.0	6.0	7.0	5.0	5.0	1.0	-2.0	-5.0	
<b>PRECIPITACION</b>													
NORMAL	5.2	7.2	7.4	21.9	61.5	110.4	70.6	59.6	88.9	29.4	8.5	2.3	472.9
MAXIMA MENSUAL	75.0	35.8	49.7	73.5	272.0	307.2	287.7	239.7	318.5	166.0	36.5	18.5	
AÑO DE MAXIMA	1992	1979	1992	1979	1992	1981	1976	1995	1979	1999	1997	1997	
MAXIMA DIARIA	29.5	22.0	19.0	34.0	95.0	120.0	85.0	64.5	95.0	96.0	32.0	10.0	
<b>EVAPORACION TOTAL</b>													
NORMAL	119.6	130.5	181.5	201.5	184.1	164.4	154.6	159.9	140.9	138.2	125.2	120.9	1,821.3
<b>DIAS CON LLUVIA</b>													
NORMAL	1.2	1.4	1.8	3.8	7.7	10.8	9.1	8.4	10.9	4.8	1.9	1.1	62.9
AÑOS CON DATOS	28	28	28	29	29	28	28	28	29	28	27	26	
<b>NIEBLA</b>													
NORMAL	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0	0.4	0.2	0.6	0.5	0.7	0.8	0.3	4.4
AÑOS CON DATOS	28	28	28	29	29	28	27	27	28	27	27	26	
<b>GRANIZO</b>													
NORMAL	0.0	0.0	0.1	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
AÑOS CON DATOS	28	28	28	29	29	28	27	27	28	27	27	26	
<b>TORRENTA E.</b>													
NORMAL	0.0	0.1	0.8	2.1	2.2	2.0	1.5	1.0	1.8	0.9	0.2	0.2	12.8
AÑOS CON DATOS	28	28	28	29	29	28	27	27	28	27	27	26	

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000					
ESTACION: 00021110 ZAPOTITLAN SALINAS (DGE)													LATITUD: 18°20'58" N.		LONGITUD: 097°28'58" W.		ALTITUD: 1,500.0 MSNM.	
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL					
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>																		
NORMAL	27.4	28.7	32.5	33.3	33.1	29.6	28.7	29.5	29.3	28.8	28.5	27.6	29.8					
MAXIMA MENSUAL	29.3	30.4	34.6	35.4	35.0	32.5	30.1	30.9	31.3	30.1	30.3	29.0						
AÑO DE MAXIMA	1982	1975	1973	1975	1983	1983	1980	1977	1977	1972	1972	1978						
MAXIMA DIARIA	36.0	36.0	39.0	40.0	39.0	37.0	33.0	36.0	35.0	34.5	34.5	34.5						
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>																		
NORMAL	17.1	18.3	21.3	22.9	23.5	21.7	21.2	21.4	21.5	20.3	19.0	17.7	20.5					
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>																		
NORMAL	6.9	7.9	10.2	12.5	13.9	13.7	13.6	13.3	13.7	11.8	9.5	7.8	11.2					
MINIMA MENSUAL	1.7	2.0	4.8	7.2	8.7	8.1	8.0	6.1	8.5	7.1	5.0	2.3						
AÑO DE MINIMA	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1973	1972	1973	1972	1973	1973						
MINIMA DIARIA	-3.0	-3.0	0.0	2.0	4.0	5.0	3.0	3.0	5.0	3.0	1.0	-2.0						
<b>PRECIPITACION</b>																		
NORMAL	4.2	5.9	11.9	13.5	54.3	95.8	59.9	48.3	81.7	19.0	5.5	1.2	401.2					
MAXIMA MENSUAL	24.7	29.6	44.0	53.0	118.0	198.0	130.5	165.9	258.1	70.0	30.1	10.0						
AÑO DE MAXIMA	1984	1983	1981	1980	1975	1974	1974	1981	1984	1976	1983	1977						
MAXIMA DIARIA	16.4	11.0	34.3	31.0	40.0	60.0	57.0	51.0	46.2	36.4	16.4	7.0						
<b>EVAPORACION TOTAL</b>																		
NORMAL	133.7	156.4	219.3	226.6	220.6	188.9	193.3	198.0	171.4	166.5	133.9	119.0	2,127.6					
<b>DIAS CON LLUVIA</b>	0.8	1.3	1.3	1.8	5.4	8.9	6.8	4.7	8.4	2.0	0.8	0.4	42.6					
AÑOS CON DATOS	13	13	13	13	13	14	13	11	13	12	13	13						
<b>NIEBLA</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
AÑOS CON DATOS	13	13	13	13	13	14	13	11	13	12	13	13						
<b>GRANIZO</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
AÑOS CON DATOS	13	13	13	13	13	14	13	11	13	12	13	13						
<b>TORRENTA E.</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
AÑOS CON DATOS	13	13	13	13	13	14	13	11	13	12	13	13						

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL														NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000																																									
ESTACION: 00021109 ZAPOTITLAN SALINAS (SMN)														LATITUD: 18°20'00" N.														LONGITUD: 097°28'00" W.														ALTITUD: 1,972.0 MSNM.													
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL																																										
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>																																																							
NORMAL	27.5	28.9	32.0	32.2	32.1	29.5	28.6	29.1	28.9	28.4	27.9	27.1	29.4																																										
MAXIMA MENSUAL	30.6	30.7	34.6	35.2	34.0	31.0	30.3	31.4	31.5	30.4	31.1	29.4																																											
AÑO DE MAXIMA	1992	1991	1973	1975	1980	1989	1980	1989	1987	1995	1989	1989																																											
MAXIMA DIARIA	36.5	37.0	40.0	40.0	39.0	37.0	38.0	39.0	39.0	38.0	36.0	37.0																																											
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>																																																							
NORMAL	17.5	18.7	21.4	22.5	23.3	22.2	21.4	21.9	21.7	20.5	19.1	17.8	20.7																																										
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>																																																							
NORMAL	7.5	8.6	10.9	12.9	14.5	14.9	14.3	14.7	14.4	12.7	10.2	8.4	12.0																																										
MINIMA MENSUAL	1.7	2.0	4.8	7.2	8.7	8.1	8.0	8.8	8.7	8.7	5.0	2.3																																											
AÑO DE MINIMA	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1973	1973	1973	1973	1973	1973																																											
MINIMA DIARIA	-3.0	-3.0	0.0	0.9	4.0	5.0	3.0	6.0	5.0	4.0	1.0	-2.0																																											
<b>PRECIPITACION</b>																																																							
NORMAL	1.3	3.6	8.4	15.7	63.5	101.3	57.9	58.4	71.0	32.8	3.6	4.5	422.0																																										
MAXIMA MENSUAL	17	19	44	53	137.5	215	164.5	165.9	172.5	116	20	54.5																																											
AÑO DE MAXIMA	1980	1990	1981	1980	1992	1974	1999	1981	1980	1999	1977	1995																																											
MAXIMA DIARIA	7.0	17.0	19.0	31.0	87.0	60.0	75.0	51.0	85.0	70.0	10.0	24.0																																											
<b>EVAPORACION TOTAL</b>																																																							
NORMAL	99.4	126.2	176.5	163.4	169.7	150.8	157.0	162.7	150.3	140.6	106.1	95.8	1,698.5																																										
<b>DIAS CON LLUVIA</b>																																																							
NORMAL	0.4	0.8	1.6	2.8	6.5	9.3	6.5	6.8	7.2	3.5	0.8	0.8	47.0																																										
AÑOS CON DATOS	20	20	21	20	20	22	21	21	21	20	22	22																																											
<b>NIEBLA</b>																																																							
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																											
AÑOS CON DATOS	20	20	21	20	20	22	21	21	21	20	22	22																																											
<b>GRANIZO</b>																																																							
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																											
AÑOS CON DATOS	20	20	21	20	20	22	21	21	21	20	22	22																																											
<b>TORRENTALES</b>																																																							
NORMAL	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.7																																										
AÑOS CON DATOS	20	20	21	20	20	22	21	21	21	20	22	22																																											

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000													
ESTACION: 00021113 ZINACATEPEC, ZINACATEPEC													
LATITUD: 18°21'00" N. LONGITUD: 097°00'00" W. ALTITUD: 1,140.0 MS NM.													
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>TEMPERATURA MAXIMA</b>													
NORMAL	28.2	31.1	34.8	36.6	36.6	34.2	33.5	32.9	33.1	31.6	30.4	28.9	32.7
MAXIMA MENSUAL	30.5	36.2	37.2	38.6	37.6	36.8	36.1	36.4	37.1	36.0	36.1	31.4	
AÑO DE MAXIMA	1982	1973	1973	1975	1983	1973	1973	1972	1972	1972	1972	1977	
MAXIMA DIARIA	35.0	38.0	41.0	42.0	41.0	39.0	38.0	38.0	39.0	38.0	38.0	35.0	
<b>TEMPERATURA MEDIA</b>													
NORMAL	19.6	21.7	24.6	26.3	26.8	25.5	24.9	24.7	24.8	23.3	21.8	20.3	23.7
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>													
NORMAL	11.0	12.3	14.3	16.1	17.1	16.8	16.2	16.5	16.5	14.9	13.3	11.8	14.7
MINIMA MENSUAL	8.6	8.8	12.8	14.3	14.1	13.4	13.1	13	14.3	13.4	11.8	9.4	
AÑO DE MINIMA	1976	1976	1976	1977	1973	1973	1972	1972	1972	1972	1974	1980	
MINIMA DIARIA	3.0	2.0	5.0	8.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	6.0	5.0	
<b>PRECIPITACION</b>													
NORMAL	0.0	3.3	2.7	5.7	31.7	68.5	50.7	29.2	44.5	10.5	2.3	0.0	249.1
MAXIMA MENSUAL	0.0	33.0	24.0	21.6	112.5	146.1	96.1	76.0	149.2	52.0	15.0	0.0	
AÑO DE MAXIMA	1972	1983	1983	1979	1975	1974	1976	1980	1974	1982	1983	1973	
MAXIMA DIARIA	0.0	19.0	12.0	12.6	37.5	42.0	38.6	32.0	65.6	32.0	15.0	0.0	
<b>EVA PORACION TOTAL</b>													
NORMAL													
<b>DIAS CON LLUVIA</b>	0.0	0.6	0.3	0.9	3.1	6.1	4.9	3.8	4.7	1.3	0.4	0.0	26.1
AÑOS CON DATOS	10	12	12	9	11	10	10	10	10	11	11	10	
<b>NIEBLA</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	10	12	12	9	11	10	10	10	10	11	11	10	
<b>GRANIZO</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	10	12	12	9	11	10	10	10	10	11	11	10	
<b>TORRENTA E.</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	10	12	12	9	11	10	10	10	10	11	11	10	



# ANEXO II

Coordenadas	Altitud (msnm)	Salinidad (ppm)	Especie	Localidad
18°19'32.34" N 97°23'30.06" O	1304	6.2	<i>Ollotis occidentalis</i>	Mina
18°18'57.18" N 97°24'42.96" O	1354	5.4	<i>Ollotis occidentalis</i>	Hacia la Mina
18°19'00.24" N 97°24'48.18" O	1357	5.4	<i>Litobathes spectabilis</i>	Hacia la Mina
18°19'23.22" N 97°25'56.30" O	1395	3.5	<i>Ollotis occidentalis</i>	El Castillo
18°19'32.40" N 97°26'57.31" O	1420	0.8	<i>Ollotis occidentalis</i>	Cuthá
18°19'26.35" N 97°27'08.68" O	1422	0.5	<i>Ollotis occidentalis</i>	Jardín botánico
18°17'09.42" N 97°30'03.94" O	1580	0.4	<i>Hyla xera</i>	Puente
18°17'24.58" N 97°29'56.00" O	1565	0.4	<i>Hyla xera</i>	Pasando el Puente
18°17'09.78" N 97°29'43.85" O	1569	0.8	<i>Hyla xera (solo adultos)</i>	Charcote
18°16'11.80" N 97°29'16.20" O	1635	0.0 - 0.4	<i>Hyla xera</i>	Cascada
18°15'59.82" N 97°29'21.55" O	1640	0.0 - 0.4	<i>Hyla xera</i>	Puestas
18°14'15.95" N 97°29'42.34" O	1782	0.0 - 0.4	<i>Hyla xera</i> y <i>Ollotis occidentalis</i>	Represa
18°13'52.59" N 97°29'48.40" O	1830	0.4	<i>Hyla xera</i> y <i>Ollotis occidentalis</i>	Metzontla