



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

**“Relaciones interespecíficas entre el Ajolote de Arroyo de Montaña
(*Ambystoma altamirani*), la Ranita Plegada (*Hyla plicata*) y la Trucha
Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la Sierra de las Cruces, México.”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G O
P R E S E N T A

Alíne Berenice Estrella Zamora

DIRECTOR DE TESIS

DR. JULIO A. LEMOS ESPINAL



LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM a través del proyecto IN200114: Historia natural y demografía de tres especies de ajolotes de montaña (género *Ambystoma*) del centro del país. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida para desarrollar el presente trabajo de tesis.

Con admiración y respeto, agradezco especialmente al Dr. Julio Lemos Espinal que sin su conocimiento y apoyo no hubiese sido posible la culminación de este trabajo.

Al Dr. Sergio Chazaro por sus invaluable consejos y al Dr. Raymundo por su gran apoyo.

Igualmente, agradezco al Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera (PAPCA) de la FES-Iztacala UNAM por el apoyo brindado para el desarrollo de esta tesis a través del Proyecto asignado al Dr. Raymundo Montoya Ayala, titulado: "Historia Natural y Demografía del Ajolote de Arroyo de Montaña (*Ambystoma altamirani*) en la Sierra de las Cruces, México".

Como una forma de devolverle un poco del amor que me ha dado, dedico esta tesis a Marisol Estrella Zamora, mi ejemplo de fortaleza, a quien dedico todos mis logros por siempre creer en mí y a quien agradezco infinitamente sus sacrificios y esfuerzos para poder heredarme algo invaluable, la educación.

A Joel por su amor incondicional, por comprenderme y apoyarme en todas mis decisiones para alcanzar mis sueños y por cambiar mi vida positivamente.

A Ximena y Paola, quienes espero puedan leer esto algún día y vean esta tesis como un ejemplo de que pueden cumplir cualquier meta que se propongan sin importar qué tan difícil sea el camino, yo estaré para apoyarlas a lograr sus sueños.

A mi hermana Jazmín, a Manuela y a Sabino Estrella por ser parte fundamental en mi vida.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. RESUMEN..... | 5 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 3. ANTECEDENTES..... | 10 |
| 3.1 A. <i>ALTAMIRANI</i> | 10 |
| 3.2 <i>H. PLICATA</i> | 11 |
| 3.3 EFECTOS DE <i>O. MYKISS</i> | 11 |
| 4. OBJETIVOS..... | 12 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL..... | 12 |
| 4.2 OBJETIVOS PARTICULARES..... | 12 |
| 5. MÉTODO..... | 13 |
| 5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 13 |
| 5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ORGANISMOS DE ESTUDIO..... | 15 |
| 5.3 TRABAJO DE CAMPO..... | 24 |
| 5.4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN..... | 25 |
| 6. RESULTADOS..... | 26 |
| 6.1 ABUNDANCIAS..... | 26 |
| 6.2 DISTRIBUCIÓN..... | 28 |
| 6.3 INFORMACIÓN SOBRE CULTIVOS DE <i>O. MYKISS</i> | 29 |
| 6.4 AMPLITUD Ds..... | 32 |
| 6.5 SOBREPOSICIÓN OJK..... | 35 |
| 6.6 DISTANCIAS EUCLIDEANAS..... | 37 |
| 7. DISCUSIÓN..... | 38 |
| 8. CONCLUSIÓN..... | 41 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 42 |

1. RESUMEN

México se considera el quinto país en riqueza de anfibios, con un alto nivel de endemismo, son doblemente vulnerables debido a que llevan a cabo una parte de su ciclo de vida en el agua y otra en la tierra. Entre los factores que afectan a los anfibios están la pérdida de su hábitat y la introducción de especies exóticas, hecho ante el cuál son un grupo susceptible, ambos vinculados al crecimiento de la población humana y a la demanda de recursos que genera. La introducción de peces no nativos, como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), ha mostrado tener un sinnúmero de efectos negativos, a pesar de esto, la trucha arcoíris ha sido y sigue siendo introducida en arroyos de las montañas que rodean a la Ciudad de México, en los cuales habitan varias especies endémicas como *H. plicata* y *A. altamirani*.

En sitios con trucha arcoíris no se encontraron individuos de *A. altamirani*, e *H. plicata* fue observada únicamente en un sitio con trucha arcoíris, el hecho de que las características de los arroyos evaluados en cada sitio se superpongan, para la mayoría de ellos, y no varíen entre estas tres especies sugiere que las variables ambientales no son responsables de la distribución de estas especies. Estas observaciones sugieren que hay una fuerte correlación negativa entre la presencia de la trucha arcoíris, y la presencia de *A. altamirani* e *H. plicata*. La acelerada expansión de las granjas de trucha arcoíris cerca de los arroyos de Sierra de Las Cruces ha tenido un impacto negativo en la distribución de anfibios nativos en estos arroyos. El desarrollo de los cultivos no ha sido sostenible y los componentes ambientales han sufrido el impacto negativo como son; modificación del paisaje, desviación, desecación y contaminación de arroyos con compuestos nitrogenados afectando a fases acuáticas de anfibios adultos, así como etapas embrionarias y larvianas. La introducción de trucha arcoíris a los arroyos de montaña ha desatado una serie de cambios en las poblaciones de anfibios nativos, desplazándolas de sitios con las características que utiliza para sobrevivir. Es necesario crear planes de manejo para las especies nativas, regular la implementación de nuevos criaderos e incrementar esfuerzos para evitar el escape de Truchas en los criaderos ya establecidos.

RELACIONES INTERESPECÍFICAS ENTRE EL AJOLOTE DE ARROYO DE MONTAÑA (*AMBYSTOMA ALTAMIRANI*), LA RANITA PLEGADA (*HYLA PLICATA*) Y LA TRUCHA ARCOÍRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) EN LA SIERRA DE LAS CRUCES, MÉXICO.

2. INTRODUCCIÓN

La pérdida de biodiversidad es un tema en el cual los anfibios están jugando un papel relevante debido a su notoria disminución poblacional (Beebee y Griffiths, 2005). Se estima que hay cerca de 6,333 especies de anfibios en el mundo (Frost, 2013, Parra-Olea *et al.*, 2014), México se considera el quinto país en riqueza de anfibios con un total de 376 especies, con un alto nivel de endemismo de un 67% de la riqueza total (Parra-Olea *et al.*, 2014).

Los anfibios están más amenazados y están disminuyendo más rápidamente que las aves o los mamíferos y es más frecuentes entre las especies asociadas a las corrientes (Stuart *et al.*, 2004), debido a que son organismo que llevan a cabo una parte de su ciclo de vida en el agua y otra en la tierra, lo cual, los hace doblemente vulnerables: la perturbación tanto del agua como de la tierra puede afectarles.

Numerosos factores antropogénicos pueden ser causantes de este patrón de extinciones (Blaustein y Wake, 1990; Reaser, 1996), entre ellos están la pérdida de su hábitat (Price *et al.*, 2006) y la introducción de especies exóticas (Light y Marchetti, 2007). Estos dos factores están fuertemente vinculados al crecimiento de la población humana la cual cada vez tiene una mayor demanda de espacios y alimentos que para nuestro país, en la mayoría de los casos, se ha realizado a través de programas gubernamentales sin ningún tipo de planeación que asegure el uso sustentable de nuestros recursos naturales. Existen innumerables ejemplos a este respecto, específicamente el crecimiento de la población humana, entre otros muchos problemas, ha resultado en la desecación y contaminación de arroyos de las montañas que rodean al Valle de México, así como la descarga de drenajes urbanos e industriales tanto de la Ciudad de México como Toluca y Lerma (Aguilar-Miguel *et al.*, 2009), afectando la vida acuática que se desarrolla en estos cuerpos de agua. Ya sea a través de la contaminación por el uso de pesticidas y

fertilizantes que eventualmente terminan en estos arroyos, el uso de ellos como basureros y receptores de desechos domésticos, su desviación para irrigar cultivos agrícolas, y su desecación por el uso desmedido de estas corrientes, los arroyos de las montañas que rodean al Valle de México son un recurso que está siendo fuertemente afectado por la población humana.

A pesar de que las larvas de anfibios que coexisten con depredadores acuáticos han desarrollado una gama de mecanismos antipredadores, continúan siendo muy vulnerables a los depredadores vertebrados e invertebrados locales, las introducciones de peces exóticos expone a los anfibios nativos a depredadores con los que no han interactuado previamente, lo cual aumenta la mortalidad de los anfibios nativos, lo que da lugar a efectos significativos en las poblaciones. Así, la introducción de peces no nativos, tales como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus myskiss*), en ecosistemas acuáticos carentes de peces ha mostrado tener un sinnúmero de efectos principalmente negativos (Cambray, 2003; Dunham *et al.*, 2004; Crawford y Muir, 2008). La introducción de la trucha arcoíris puede alterar la composición de la comunidad o la biomasa de invertebrados del bentos (Shelton *et al.*, 2015b, 2016; Vimos *et al.*, 2015), peces nativos (Shelton *et al.*, 2015a; Turek *et al.*, 2015, 2016), zooplancton (MacLennan *et al.*, 2015; Loewen y Vinebrooke, 2016), y perifiton y algas (Nyström *et al.*, 2001; Buria *et al.*, 2010; Shelton *et al.*, 2015b; Vimos *et al.*, 2015). Además, la introducción de la trucha puede tener impacto sobre vertebrados terrestres, tales como las aves produciendo efectos complejos de cascada trófica; competencia de peces por comida aviar, alteración de fondo, reducción de zooplancton, disminución de la transparencia, disminución de poblaciones de insectos. (Ortubay *et al.*, 2006; Epanchin *et al.*, 2010).

Los anfibios son un grupo particularmente susceptible a los efectos negativos de la introducción de la trucha. La trucha arcoíris consume renacuajos de varias especies de anuros (Gillespie, 2001) y salamandras (Pearson y Goater, 2009). La introducción de la trucha ha mostrado disminuir la abundancia o presencia de especies de salamandras y anuros en el norte de los Estados Unidos y Canadá (Tyler *et al.*, 1998; Matthews *et al.*, 2001; Pilliod y Peterson, 2001; Knapp, 2005; Welsh *et al.*, 2006; McGarvie Hirner y Cox, 2007;

Pearson y Goater, 2008; Pilliod *et al.*, 2010). La introducción de la trucha también ha sido asociada con la disminución de poblaciones de anuros en Australia (Gillespie y Hines, 1999; Gillespie, 2001) y Sudáfrica (Karssing *et al.*, 2012). Sin embargo, algunas especies de anuros, particularmente aquellas como *Anaxyrus boreas*, que se piensa no son palatables a la trucha, no han sido afectadas o son positivamente afectadas por la introducción de la trucha (Welsh *et al.*, 2006; McGarvie Hirner y Cox, 2007; *Taricha granulosa*, Welsh *et al.*, 2006). Además de los efectos directos como depredador, la trucha arcoíris también puede ayudar a diseminar enfermedades de anfibios, tales como el iridovirus (Jancovich *et al.*, 2005) y al pseudo-hongo protista *Saprolegnia ferax* (Kiesecker *et al.*, 2001).

Aunque los efectos negativos de la introducción de peces no nativos a hábitats que originalmente carecen de peces han sido bien documentados, la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) ha sido y sigue siendo introducida a México (Hendrickson *et al.*, 2002; Escalante *et al.*, 2014; Sosa-Villalobos *et al.*, 2016), incluyendo arroyos en las montañas que rodean a la Ciudad de México (López-García *et al.*, 2014). De hecho, el uso de la trucha arcoíris en acuicultura ha sido sugerido como una forma para conservar los bosques nativos, tales como la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (López-García *et al.*, 2014). Además de la introducción intencional, la trucha ha escapado de sus encierros a los arroyos, los cuales han sido fuertemente impactados por este hecho (Consuegra *et al.*, 2011; Mercado Silva *et al.*, 2012; Sepulveda *et al.*, 2013). Los arroyos en las montañas del centro de México son hogar de varias especies endémicas de *Ambystoma*, muchas de las cuales están en peligro o críticamente en peligro de extinción (Frías-Alvarez *et al.*, 2010; Wilson *et al.*, 2013), así como de otros anfibios.

A pesar las consecuencias tan graves que los cultivos ocasionan, esta información no es relevante para que el gobierno mexicano siga aumentando y promoviendo el apoyo para la creación de cultivos en Sierra de las Cruces.

El establecimiento y crecimiento de los cultivos fue debido al programa de desarrollo de orden federal: Fideicomiso para el Desarrollo de la Flora y Fauna Acuáticas (FIDEFA) y al de orden Estatal a cargo de la empresa gubernamental Protectora e

Industrializadora de Bosques del Estado de México (PROTIMBOS), como una alternativa para detener la tala clandestina y el deterioro de los bosques por la agricultura en las comunidades de montaña (SEMARNAT, 2002 ; Rojas-Carrillo y Fernández-Méndez, 2006).

Posteriormente ocurrió un importante desarrollo de la producción de trucha con el principal objetivo de introducir a cuerpos de agua y para beneficio social, enfocado sobre todo al ámbito rural, esto como una forma de que poblaciones con escasos recursos tuvieran una fuente de proteína animal a la cual acudir. Actualmente el cultivo de trucha dejó de ser una actividad complementaria convirtiéndose en una actividad productiva integral, que involucra además del cultivo, actividades ecoturísticas, como el camping, senderismo, rapel y principalmente una franja de restaurantes que ofrecen trucha en su menú, abarcando día con día más espacios modificando sus condiciones naturales. Este problema se ha visto fuertemente agravado por la negligencia del gobierno mexicano que en su afán por brindar alternativas de alimentación para la población humana ha promovido el establecimiento de granjas de trucha arcoíris en las partes altas de las serranías que rodean al Valle de México.

Aunque el propósito a gran escala de estas campañas es elevar el nivel de vida de los productores, sus familias y las comunidades con el ingreso económico que genera el cultivo de estos organismos, al parecer el establecimiento de estas granjas se ha hecho sin el soporte de ningún tipo de programa ni planeación, de tal forma que la pesca y consumo de truchas en restaurantes o puestos carreteros se ha vuelto uno de los principales atractivos de sitios como La Marquesa, Las Cruces, Presa Iturbide, Cahuacán, Villa del Carbón etc., siendo el principal ingreso económico para las familias de la localidad, las cuales al igual que la mayoría de la población mexicana enfrentan problemas económicos a consecuencia del desempleo o falta de oportunidades.

La erradicación de la trucha es prácticamente imposible pues las campañas de concientización no funcionan en localidades donde la supervivencia diaria se sobrepone con la protección de los recursos, como es el caso de la Sierra de las Cruces donde gran parte de los pobladores depende de la venta de trucha para su sustento diario. Por otra

parte, aparentemente no existe voluntad del gobierno para proporcionar opciones adecuadas a los pobladores de esta sierra para allegarse recursos económicos que aseguren su sustento y evitar el deterioro de la vida nativa del lugar, por el contrario, el gobierno mexicano busca alternativas para seguir haciendo crecer los establecimientos donde se cultivan truchas sin importar las consecuencias a corto y largo plazo que esta actividad genera.

Aunado a lo anterior el poder entender y asignar el estatus de protección de salamandras ambystomátidas y ranas hylidas de México frecuentemente está limitado por la falta de estudios a largo plazo y por la falta de información básica sobre sus historias naturales y fenologías (Lemos-Espinal *et al.*, 2016), dos de estas especies con una falta considerable de estudios son *Ambystoma altamirani* e *Hyla plicata*, ambas representadas ampliamente en las partes altas de Sierra de las Cruces, Estado de México.

Conocer la historia natural de poblaciones de *A. altamirani* e *H. plicata* en la Sierra de las Cruces, así como los efectos que está teniendo la introducción de la trucha arcoíris sobre estas poblaciones, es necesario para poder generar planes de conservación en la Sierra de las Cruces. Esto no quiere decir que el propósito de desarrollar la presente propuesta sea el plantear planes de manejo para ninguna de estas especies, la meta es generar información básica sobre ellas que ayude a expertos en el manejo de recursos a plantear dichos planes de manejo.

3. ANTECEDENTES

A. altamirani: En 1895, Dugés nombró a *Amblystoma altamiranoi* y describió el Llano de los Ajolotes en Sierra de las Cruces como su localidad tipo, posteriormente en 1928 Dunn lo agrupó en un género llamado *Rhyacosiredon* debido a sus adaptaciones para la alimentación en corrientes de río. Really y Brandon en 1994 concluyen que *Rhyacosiredon* no es válido y hasta el momento y en el presente trabajo se considera una sinonimia de *Ambystoma*.

Lemos- Espinal y colaboradores en 1999 analizaron algunas poblaciones de *A. rivulare*, *A. leorae*, *A. zempoalaense* y *A. altamirani*; observaron su distribución y las

condiciones en las que se encuentran y reportaron que en una población de *A. leorae* en el Río Cotzala ningún individuo de *A. leorae* había sido observado desde la introducción de peces por la gente local. Advirtiendo que la introducción de peces predadores en los arroyos con *A. leorae* podría tener efectos devastadores, en el mismo año Ross y Stephen sugieren que una de las principales causas del declive de anfibios es causado por la interacción con organismos de especies exóticas o invasoras, esto debido a que son más competitivas o actúan como depredadores.

H. plicata: fue nombrada por primera vez Brocchi en 1877, Duellman en 1970 volvió a validar el nombre dado por Brocchi, la describió e indicó que habita en bosques húmedos de pinos (*Pinus*) y abetos u oyameles (*Abies*) en altitudes de 2400- 3600 msnm., vegetación y rango altitudinal en el cuál también se encuentra *A. altamirani*., ambas especies han sido reportadas como especies endémicas del eje Neovolcánico Transversal (Castro-Franco *et al.*, 2006), habitando juntas en Zempoala (Duellman 2001). *H. plicata* se encuentra mayormente en las orillas de cuerpos de agua, dentro de cuerpos de agua y en pastizal, compartiendo microhábitat con *A. velasci* (Rámirez-Pérez 2008).

En el 2016 Lemos- Espinal y colaboradores sugieren que la velocidad del agua, el tipo de sustrato y el color pueden dividir estas dos especies, en el mismo año, Lemos-Espinal y colaboradores encontraron que los sitios con *A. altamirani* e *H. plicata* son sitios más anchos y más profundos que donde no se encontraban, así como la preferencia de *A. altamirani* por sitios con un mayor volumen de agua, mayores niveles de oxígeno disuelto, agua con movimiento más rápido y sitios con hierba emergente.

Efectos de la trucha arcoíris a fauna nativa:

En el 2016 Martín-Torrijos *et al.* Informaron que cuando la rana cristal endémica de los andes (*Nymphargus grandisonae*) perciben las señales químicas (cariomonas) de la trucha arcoíris, afecta su comportamiento, alimentándose menos y cambiando su morfología larval con un impacto negativo.

En 2001 Gillespie evaluó la predación de renacuajos de tres especies de ranas arborícolas, *Litoria spenceri*, *L. phyllochroa* y *L. lesueuri*, especies que habitan en los

arroyos de Montaña invadidos por *Salmo trutta* y *O. mykiss* en el sureste de Australia. Observaron una preferencia de los alevines de trucha por renacuajos de *L. spenceri* siendo capaz de reducir significativamente la supervivencia de los renacuajos de *L. spenceri*, principalmente y *L. phyllochroa* en menor medida.

Pearson y Goater reportaron en el 2009 que la trucha arcoíris reduce la supervivencia a casi cero en larvas y salamandras de *Ambystoma macrodactylum* además, las larvas *A. macrodactylum* no incrementan el uso de refugio ni modifican los patrones de actividad en presencia de truchas, esto como resultado de la incapacidad de las larvas para reconocer a los depredadores introducidos como una amenaza. Por otro lado Kenison *et al.* en 2016 observaron que larvas de *A. macrodactylum* al encontrarse expuestas a señales visuales y químicas de especies invasoras de peces en lagos de Montana, mostraron una disminución del tamaño corporal, un crecimiento más lento, así como el retraso en la metamorfosis.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación entre la distribución espacial y temporal de las poblaciones de ajolote de arroyo de montaña (*Ambystoma altamirani*) y ranita plegada (*Hyla plicata*), y el efecto que tienen los cultivos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) sobre estas poblaciones en la Sierra de las Cruces, México.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- ◆ Analizar la información los Cultivos de trucha en Sierra de las Cruces y el uso que se le da a *A. altamirani* e *H. plicata* por la gente local.
- ◆ Describir la distribución del Ajolote de Arroyo de Montaña (*A. altamirani* y la Ranita Plegada (*H. plicata*) en el complejo de arroyos de la Sierra de las Cruces, México.
- ◆ Describir la expansión que han tenido los cultivos de *O. mykiss* desde su introducción por el gobierno mexicano hasta la fecha en Sierra de las Cruces, México.
- ◆ Describir la relación en la distribución espacial y temporal de las poblaciones de *A. altamirani* e *H. plicata* en el complejo de arroyos de la Sierra de las Cruces, México.

- ◆ Obtener la sobreposición de la utilización del recurso espacio entre *A. altamirani* e *H. plicata* en el complejo de arroyos de la Sierra de las Cruces, México.
- ◆ Describir el efecto que han tenido los cultivos de *O. mykiss* en las poblaciones de *A. altamirani* e *H. plicata* de Sierra de las Cruces, México.

5. MÉTODO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Sierra de Las Cruces se localiza en la parte este del Eje Neovolcánico, está delimitada por las coordenadas 18°59'–19°43' N y 99°00'–99°40' O. Esta sierra constituye un límite morfológico entre las cuencas de México (2,220 msnm) y Toluca (2,400 msnm) (Figura1). Tiene una longitud de 110 km y un ancho de 47 km en su parte norte y 27 km en su parte sur. La Sierra de Las Cruces está dividida en tres grandes bloques: norte, centro y sur, delimitados por fallas de dirección este a oeste. Estos bloques presentan diferencias de altitud, pendiente, densidad y dirección de morfolineamientos, patrones de drenaje, energía del relieve, profundidad de disección y orientación. Esta sierra posee tres sistemas de fallas principales: norte a sur; noreste a suroeste; y este a oeste. Estos sistemas de fallas han interactuado conjuntamente como fallas normales desde el Pleistoceno hasta el Reciente, por lo que se considera que su reactivación jugó un papel muy importante en el arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces y en la configuración del basamento de la cuenca de México (García-Palomo *et al.*, 2008).

Este trabajo se desarrolló específicamente en el noroeste de la Sierra de las Cruces, revisando la mayor cantidad posible de arroyos que se encuentran en los siguientes tramos de carretera: San Luis Ayucán/Barrio Las Manzanillas a Llano Las Navajas; Llano Las Navajas a Villa del Carbón; Llano Las Navajas a Centro Ceremonial Otomi; Villa del Carbón a Cahuacán. Estos cuatro tramos representan una “U” sobre la carretera Méx. 3, del Barrio Las Manzanillas a Cahuacán, todos ellos con una altitud superior a los 2,400 m. A lo largo de ellos se aprecian extensos pastizales de *Bouteloua* spp., *Festuca* spp., *Muhlenbergia* spp. y *Stipa* spp., rodeados por bosques de *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*,

P. montezumae y *Quercus* spp. Los bosques de pinos están distribuidos en función de la altitud y de la existencia de roca caliza como roca madre (Challenger, 1998), se desarrollan en altitudes que van de 1.500 a los 3,000 msnm, aunque en el centro de México se pueden encontrar hasta los 4, 000 msnm. (Ramírez-Bautista *et al.*, 2010). Estos pastizales y bosques se ven atravesados por una cantidad considerable de arroyos que se forman por los escurrimientos provenientes de las partes altas de esta sierra. En la porción noroeste de la sierra, que es donde se desarrolla el estudio, el punto más alto está representado por el Cerro Las Navajas con una altitud de 3,710 m.

en México, aunque de forma artificial ha sido introducida por el hombre en lugares con muy bajas temperaturas. La especie es flexible y adaptable a nuevos hábitats.

Tienen cuerpo alargado, color verde olivo a negro en el dorso y blanco en el vientre, con colores longitudinales en los costados que asemejan un arcoíris y presenta pequeñas manchas oscuras en la región dorsal (Rodríguez, 1982). Los machos reproductores no presentan cambios en la morfología de la cabeza ni resto del cuerpo tan llamativos como los de otras especies del mismo género; variando mucho la coloración de la piel con el hábitat y el tamaño; los que residen en ríos de forma permanente son más oscuros, similares a los anádrolos en edad reproductiva, mientras que los que residen en lagos son de coloración más clara.

La duración total del ciclo gonadal para la trucha arco iris es de aproximadamente un año, período que puede variar de acuerdo a las razas, condiciones climáticas y alimentación (Tyler *et al.*, 1991).

El desarrollo biológico de la trucha comprende 5 etapas:

Ova: Son los huevos fecundados que después de un promedio aproximado de 30 días de incubación, eclosionan; Alevino: Son peces pequeños que miden de 3 cm. a 10 cm. con un peso que oscila entre 1.5 gr. a 20 gr. (Figura 2); Juvenil: Son peces que miden de 10 cm. a 15 cm. cuyo peso es generalmente de 20 gr. a 100 gr.; Comercial: Es la etapa especial, donde los peces han recibido el proceso de engorde para ser comercializados, estos miden 15 cm. a 22 cm., con un peso de 100 a 200 gr.

Los adultos tienen una dieta generalista, alimentándose de insectos en estado larvario, moluscos, crustáceos, lombrices, ajolotes, renacuajos y peces pequeños etc., mientras que los alevines son zooplanctófagos (Zamora 1986)



Figura 2: Desarrollo del alevín de *O. mykiss* y absorción del saco vitelino (Recuperado de <http://www.patagoniafishingguide.com>).

En los ambientes naturales a nivel de alevines, sus principales competidores son los peces nativos, pero a medida que se convierte en adulto los depredadores disminuyen por su gran voracidad, la trucha como depredador es territorial, vive en un área o espacio que defiende desde que es alevín y comienza a comer, ocupa un sitio determinado en posición contraria a la corriente del río, que solo abandonará cuando pase un organismo vivo que le sirva de alimento o cuando quiera expulsar de él a otro congénere, a medida que va adquiriendo mayor tamaño tiene mayor agresividad y trata de expandir su territorio obligando a los pequeños a emigrar o colonizar otras partes del río (Gall y Crandell, 1992)

Debido a su comportamiento migratorio relacionado con la reproducción, a su potencial invasor y la susceptibilidad de convertirse en una amenaza grave por competir con las especies silvestres autóctonas, alterar su pureza genética o los equilibrios ecológicos, esta especie ha sido incluida en la lista de las *100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo* de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, en México ha sido introducida en Guanajuato, Michoacán, Veracruz, Nuevo León, Oaxaca y el Estado de México (Ortega, 2000)

Ambystoma altamirani

Anteriormente *A. altamirani* era considerada como especie perteneciente al género *Rhyacosiredon* por sus adaptaciones que facilitan la alimentación en ambientes acuáticos de montañas altas, actualmente el género *Rhyacosiredon* es considerado una sinonimia de *Ambystoma* (Reilly y Brandon, 1994; Morales-Sandoval, 2015).

En *A. altamirani* el cuerpo de organismos metamorfoseados es de color sepia oscuro salpicado de puntos negros en las regiones superiores (Figura 3) Las larvas presentan una coloración moreno pálida con manchas negras (Figura 4). La región ventral es de color amarilla tendiendo a verdosa o violácea. La región ventral y gular de los individuos jóvenes son de color negruzco. Las puntas de los dedos son amarillentas o negras. El pliegue transversal bajo el cuello está bien marcado. A los costados del cuerpo hay doce pliegues, pero por lo general los dos primeros son poco conspicuos. El hocico es de forma cuadrangular y delgada, la cabeza se ensancha hacia las sienes y se estrecha enseguida para terminar por dos salientes laterales que la separan netamente del cuello (Figura 5). El cuello es más delgado que el cuerpo y la cabeza. Los orificios nasales son casi terminales y están dirigidos hacia los lados. El tronco es menos ancho que la cabeza y algo deprimido. La extremidad anterior, extendida hacia adelante, llega a la nariz, y dirigida hacia atrás comprende las tres cuartas partes de la distancia que hay entre la axila y la ingle. Los dedos de las patas alcanzan el codo y a veces lo sobrepasan. El miembro pelviano, aplicado sobre el costado, alcanza el último cuarto de la distancia entre la ingle y la axila, y algunas veces llega un poco más adelante. La mandíbula inferior entra en el labio superior. La boca no puede abrirse hasta el ángulo de las mandíbulas. Los ojos son bastante pequeños, y el iris es de color moreno punteado de oro. La lengua varía de forma, pero en general es elipsoidal, delgada, adherente por todas partes, mal limitada hacia atrás y sólo se distingue por su ligera elevación sobre la mucosa que la rodea (Dugès, 1895).



Figura 3 Coloración de *A. altamirani*. (adultos).



Figura 4: Coloración de *A altamirani* (juvenil).



Figura 5: Vista de los 12 pliegues laterales y cabeza ensanchada hacia las sienes.

Las poblaciones de esta salamandra se han registrado en pequeños arroyos que corren en medio de bosques de oyamel (*Abies religiosa*), en bosque mixtos de *Abies religiosa* y *Pinus montezumae*, en bosque de *Pino hartwegii*, y en pastizales de *Festuca* sp., *Stipa* sp., y *Muhlenbergia* sp. En el Parque Nacional Miguel Hidalgo, Lemos-Espinal tiene registrada una población en un arroyo que corre a lo largo de un pastizal rodeado de *Abies religiosa*. Igualmente, en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, (Lemos-Espinal *et al.*, 1999) reportaron una población en un arroyo que corre a lo largo de un pastizal rodeado de *Abies religiosa*. Su distribución altitudinal va de 2,700 a 3,460 m sobre el nivel del mar (Lemos-Espinal, 2003).

México cuenta con 18 de las 37 especies existentes de ambystomatidos, de las 18 especies existentes en nuestro país, 8 se encuentran en peligro crítico y 3 se encuentran consideradas en peligro de extinción (Shaffer *et al.*, 2008) entre ellas *A. altamirani*, Según la Lista roja de la Union Internacional para la Conservacion de la Naturaleza (<http://www.iucnredlist.org>).

A. altamirani presenta una grave disminución de la población, estimada en más de un 50 % en los últimos tres generaciones, su distribución es muy fragmentada, ya que la calidad de su hábitat en el Valle de México se ha visto gravemente afectada. Las leyes mexicanas consideran a *A. altamirani* como especie “amenazada” (Lemos-Espinal et al., 2016a) cita a (Frías-Alvarez *et al.*, 2010; Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010).

Hyla plicata

Esta especie se encuentra a lo largo de la orilla sur de las montañas del Eje Transvolcánico a través del centro de México y en localidades esparcidas en la Sierra Madre Oriental de Hidalgo, Puebla y Veracruz (figura 6) . Pueden encontrarse en hábitats acuáticos en las montañas que rodean la Ciudad de México (Wilson y Johnson, 2010; Lemos –Espinal *et al.*, 2016b), siendo el hílido que se distribuye a mayor altitud en el eje Neovolcánico de México ocupando bosques húmedos de pino y oyamel, donde se le encuentra en praderas abiertas y arroyos de corriente (Duellman, 1970).

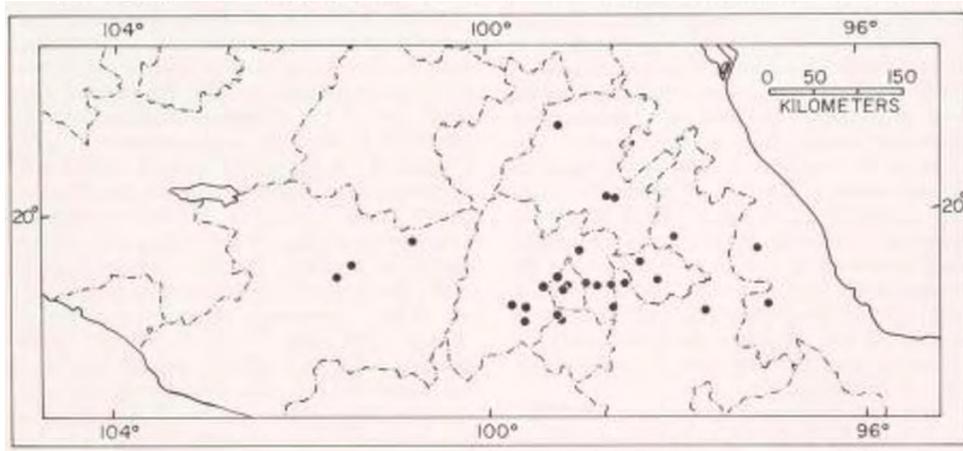


Figura 6: Distribución de *H. plicata* (Duellman, 1970).

El nombre de la especie es una palabra en latín, *plicata*, que significa, “pliegue”. Duellman (2001) no pudo asociar esta palabra con una característica de la especie. Esta especie tiene un fuerte pliegue dérmico en forma de cinta a lo largo de todo el tarso. Este pliegue dérmico puede ser la característica que (Brocchi, 1877) utilizó para nombrar a la especie.

H. plicata tiene hábitos semiacuáticos y se encuentra asociada a las orillas de arroyos durante la temporada de reproducción; Lemos-Espinal y Dixon en 2016 describieron a esta especie de la siguiente manera: *H. plicata* es una rana arborícola de tamaño moderado con la cara y el dorso verdes y con una delgada raya dorsolateral de color blanco que corre desde detrás de los ojos hasta los lados del cuerpo. Debajo de esta raya blanca hay una raya café que termina hasta la ingle, estas dos rayas dorsolaterales ocasionalmente están ausentes en la parte posterior del cuerpo.

Los machos alcanzan una LHC máxima de 44 mm, y las hembras de 47 mm. Los ojos son grandes y prominentes, y la cabeza es ligeramente más angosta que el cuerpo. El prevomer tiene dientes. Los machos tienen de 4 a 6 dientes por proceso, las hembras de 5 a 7 dientes. Un pliegue dérmico moderadamente grueso se extiende desde detrás del ojo, sobre el tímpano y hacia abajo en dirección al extremo de la línea de la mandíbula. Los brazos son robustos y algo cortos, sin membrana axilar. Los dedos de las manos son algo largos y delgados, con pequeñas ventosas, pero sin membrana interdigital. La ventosa más grande de los dedos de la mano es aproximadamente $\frac{3}{5}$ el diámetro del ojo.

En machos reproductivos, el espolón es grande y produce una excrecencia nupcial. El tubérculo palmar es grande, ligeramente bífido, y elevado. Las piernas son largas y delgadas, los dedos de los pies largos y están cubiertos en $\frac{2}{3}$ de su longitud por membrana interdigital. Un largo pliegue en forma de hoja se extiende sobre toda la longitud del tarso. La articulación tibiotarsal, cuando es extendida hacia delante, generalmente llega hasta la esquina anterior del ojo. La piel del dorso es lisa, con una textura fuertemente granular sobre la garganta, abdomen, y parte posterior de la superficie ventral de los muslos. El dorso es verde con una banda dorsolateral café desde detrás del ojo hasta la ingle (Figura 7) Otras marcas café sobre el dorso ocasionalmente se encuentran presentes sobre la región del sacro o posterior a éste. Generalmente la orilla es blanca a lo largo del lado superior de la banda lateral café, y una delgada extensión de esta banda está presente desde el ojo hasta el nostrilo (Figura 8). El margen externo de los pies, manos, muslos y brazos con una orilla blanca bordeada de café. Un

delgado borde blanco está presente encima del ano. La garganta, pecho y abdomen son blancos. En machos reproductivos el saco vocal tiene puntos blancos.



Figura 7: Vista lateral de *H. plicata*.



Figura 8: Vista dorsal de *H. plicata*.

5.3 TRABAJO DE CAMPO

Se visitó el área de estudio durante un ciclo anual (octubre 2015- octubre 2016) obteniendo la ubicación de los cultivos de trucha, las condiciones en las que se mantienen los individuos, la antigüedad de los establecimientos. Se realizaron caminatas de 200m a lo largo (en los arroyos donde la extensión lo permitió) y observando dos metros a los lados en busca de *A. altamirani*, *H. plicata* y *O. mykiss.*, todo esto sobre trayecto previamente expuesto en la descripción del área de estudio.

Se observaron las condiciones del sitio y las desviaciones de agua provocadas intencionalmente para el abastecimiento de los criaderos, En estas salidas mensuales se llevó un registro de la presencia y número de individuos o masas de huevos de *A. altamirani* y/o *H. plicata* así como la presencia de granjas de *O. mykiss* y en su caso individuos libres de esta especie en los arroyos. En cada uno de estos arroyos y en las inmediaciones de las granjas de *O. mykiss* se tomó la siguiente información: Compuestos nitrogenados (Nitrate Nitrogen kit marca LaMotte OCTA-SLIDE 2, "0.25-10.0ppm"). Así como la anchura y profundidad del arroyo con un flexómetro de 10 m. Adicionalmente, para cada arroyo se llevó un registro de sus coordenadas geográficas, obtenidas a través de un geoposicionador Garmin E-trex.

Para todos los individuos observados de estas especies se llevó un registro de la ubicación de masas de huevos, larvas e individuos adultos o metamorfoseados en el caso de *H. plicata*, describiendo el microhábitat específico del sitio de observación, hora de observación, condiciones del sustrato (lodoso, rocoso, con vegetación); microhábitat ocupado (bajo roca, entre vegetación, etc.) y presencia de vertebrados acompañantes.

Como información adicional se realizaron entrevistas a pobladores y dueños de los cultivos de trucha así como también una entrevista con el personal de CONAPESCA para obtener información sobre el tipo de apoyo que se otorgan a pobladores de la Sierra para el desarrollo y establecimiento de los cultivos, la distribución de los cultivos que tienen registrada y los requerimientos necesarios para ser beneficiarios de estos apoyos.

5.4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Amplitud en la utilización del nicho:

Se estimó utilizando la fórmula estandarizada de Levin (Hurlbert, 1978):

$$D_s = \frac{([\sum P_i^2]^{-1}) - 1}{N - 1}$$

Donde:

P_i proporción de ocurrencia de cada microhábitat ocupado por *A. altamirani* en los arroyos revisados.

N es el número de microhábitats disponibles en los arroyos revisados.

D_s amplitud de la dimensión espacio del nicho para una categoría de talla específica.

Sobreposición en la utilización del espacio:

Se estimó a través del índice de sobreposición en la utilización de recursos de Pianka (1986):

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

Donde:

O_{jk} : sobreposición del uso espacio entre diferentes categorías “j” y “k”

“j” y “k”: las categorías a comparar, éstas son *A. altamirani*, *H. plicata* y *O. mykiss*

P_{ij} : proporción de utilización del espacio (microhábitat) “i”, por la categoría “j”.

P_{ik} : proporción de utilización del espacio (microhábitat) “i” por la categoría “k”.

Disimilitud:

Se aplicó LOG10 a todos los datos con el fin de que pudieran ser datos comparables entre sí. La distancia entre los valores agrupados fue estimada con el índice de disimilitud de Euclidean:

$$\sqrt{(X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2}$$

6. RESULTADOS

6.1 ABUNDANCIAS.

Se analizaron 69 arroyos y cuerpos de agua dentro del conjunto montañoso Sierra de las Cruces mensualmente observando un total de 47 individuos de *A. altamirani*, 166 de *O. mykiss* y 2016 individuos de *H. plicata* (Figura 9).

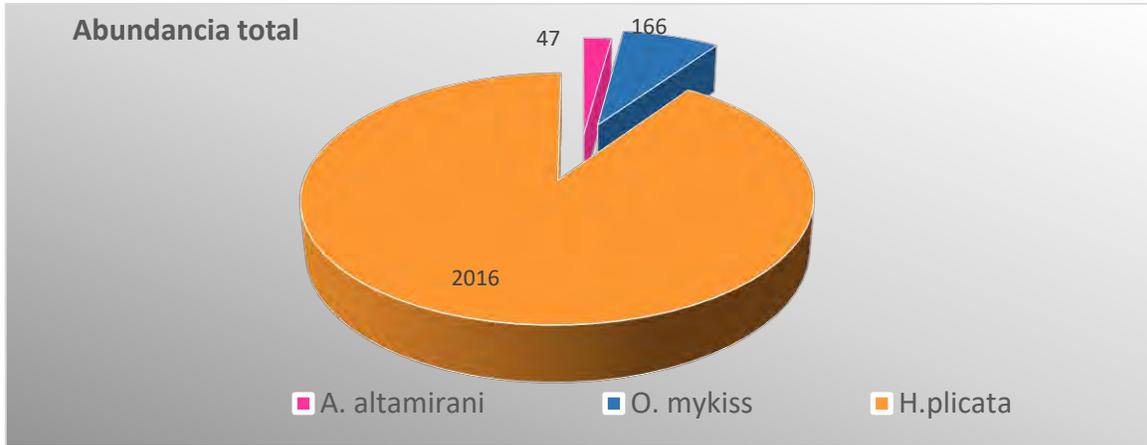


Figura 9: Número de individuos encontrados para *A. altamirani*, *H. plicata* y *O. mykiss*.

1320 huevos de *H. plicata* fueron encontrados en junio así como dos adultos dando como resultado ser el mes con mayor abundancia de esta especie, renacuajos fueron encontrados en julio y octubre. En Abril se localizaron en Ojo de agua algunos individuos adultos realizando cantos en días lluviosos para la reproducción (Figura 10)

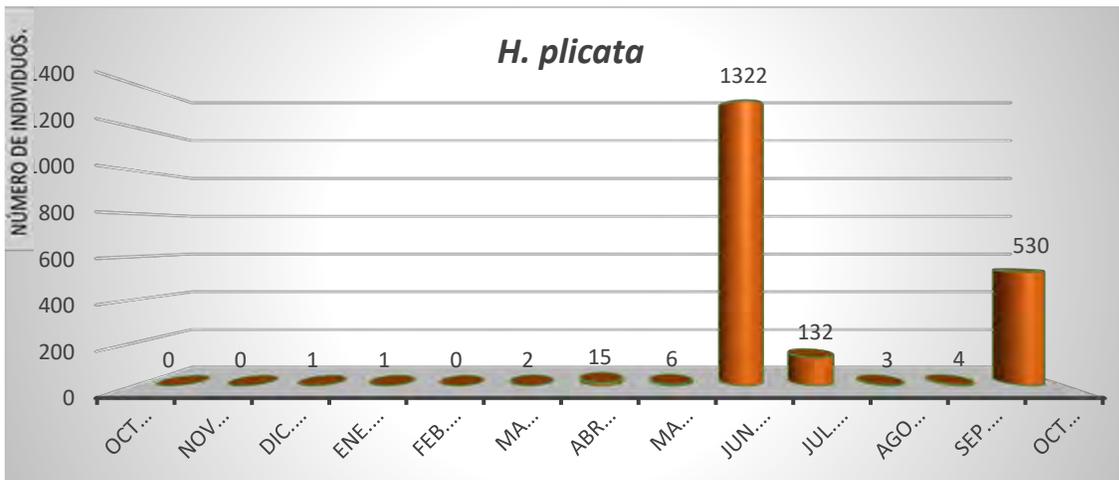


Figura 10: Abundancias mensuales para *H. plicata*

En octubre del 2016 se registró el mayor número de *A. altamirani* con 12 individuos, seguido de agosto con 7 individuos, posteriormente marzo y septiembre con 6, febrero con 5, mayo y junio con 4, julio con 2 y enero con 1 (Figura 11).

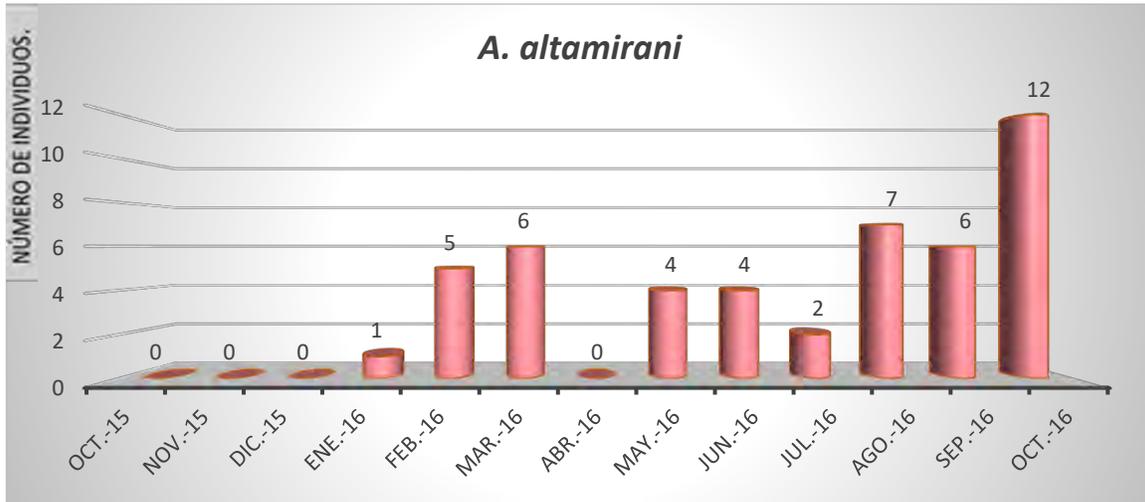


Figura 11: Abundancias mensuales para *A. altamirani*.

Los meses que presentaron mayor número de individuos de *O. mykiss* fueron Marzo con 32 individuos seguido de febrero y octubre con 30, posteriormente septiembre con 22 y abril con 21, Los meses donde no se encontraron truchas fueron enero, mayo, julio y octubre del 2016. (Figura 12)

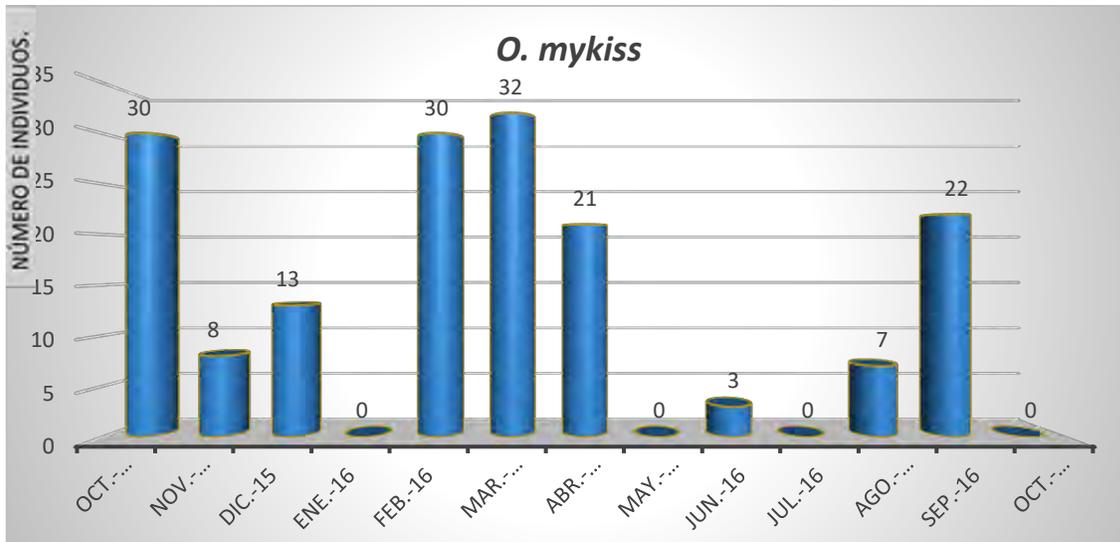


Figura 12: Abundancias mensuales para *O. mykiss*.

6.2 DISTRIBUCIÓN

La distribución de cada una de las tres especies se ubicó en los siguientes municipios y localidades (Figura 13):

A. altamirani:

- ❖ Villa del Carbón: El varal y Arroyos de Presa el Llano.
- ❖ Villa Nicolás Romero: Transfiguración, Ejido Cahuacán, Ojo de Venado y Cahuacan.
- ❖ Isidro Fabela: Los Tachos, Las Palomas, Llano de los Ajolotes y Km 51 carretera Mex. 3
- ❖ Jilotzingo: Santa María Mazatla, Peña de Lobos.
- ❖ Jiquipilco.
- ❖ Temoaya: Cerca de Centro Ceremonial Otomí

H. plycata:

- ❖ Villa del carbón: Arroyos de Presa el Llano y El Varal.
- ❖ Nicolas Romero: Barbechos, Cahuacan, Ojo de Agua y Ejido Cahuacán.
- ❖ Isidro Fabela: Presa Iturbide, Las Palomas, Llano los Ajolotes, camino al Centro Ceremonial Otomí y Km 52 carretera Mex. 3.
- ❖ Jilotzingo: Tlazala de Fabela, Peña de Lobos, Santa María Mazatla.

O. mykiss:

- ❖ Villa del Carbón: Loma Alta, Camino Cahuacan-Villa del Carbón, Carretara 4 camino a Presa el Llano, Presa el Llano y Centro.
- ❖ Villa Nicolás Romero: Cuamatla, Transfiguración, Ojo de agua y Cahuacan.
- ❖ Isidro Fabela: Los Tachos, Presa Iturbide, Tlazala de Fabela
- ❖ Jilotzingo: Santa María Mazatla, Peña de Lobos, Jilotzingo centro.
- ❖ Temoaya: Cerca de Centro Ceremonial Otomí
- ❖ Naucalpan de Juárez: Las manzanas

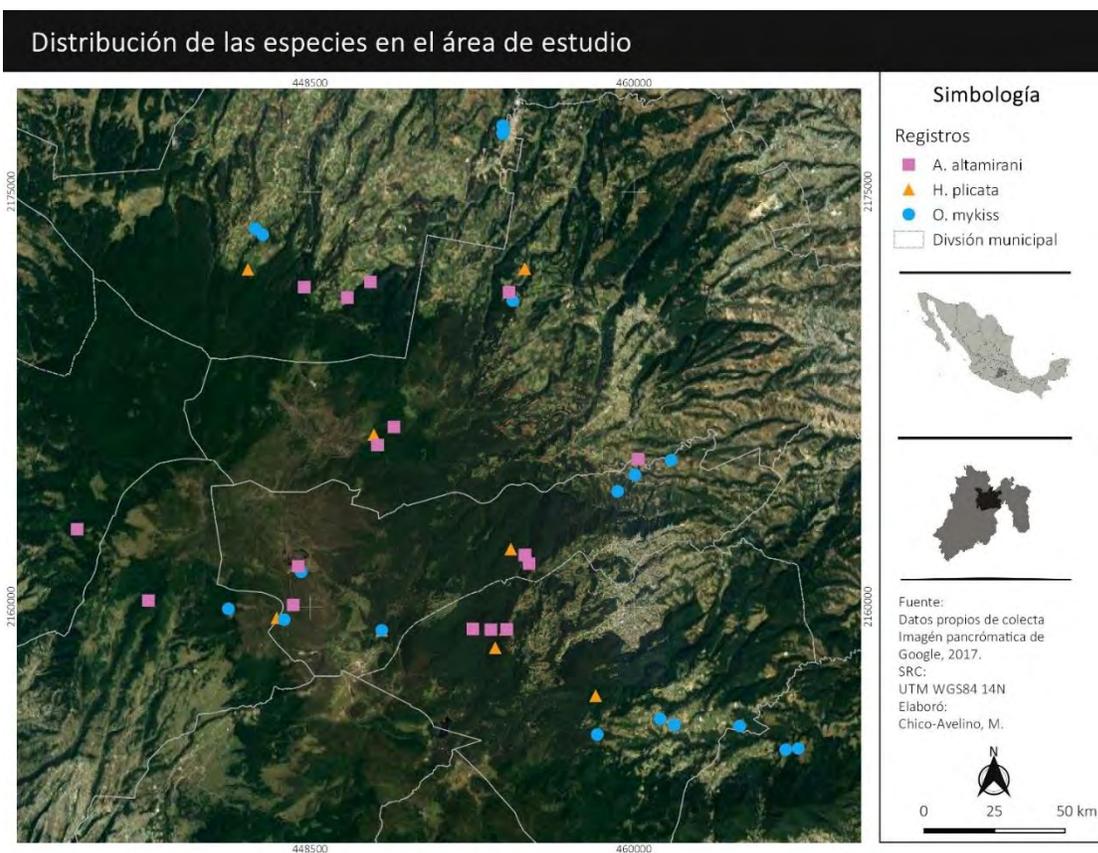


Figura 13: Mapa de la distribución de *A. altamirani*, *H. plicata* y *O. mykiss* en Sierra de las Cruces, México.

6.3 INFORMACIÓN SOBRE CULTIVOS DE TRUCHA

En Sierra de las Cruces los cultivos de trucha compran a los organismos juveniles o alevines, en algunos casos son proporcionados por el gobierno como un apoyo para los

dueños de los criaderos o restaurantes, los cuales provienen de El Zarco, son mantenidos en los estanques de cemento solo para el crecimiento y engorda, el agua de los estanques es abastecida por la corriente del río.

El primer estanque al que llega el agua es el estanque de sedimentación el cual está destinado a acaparar los sedimentos arrastrados por la corriente, así como basura debido a la contaminación de los ríos. En los criaderos que se encuentran en las partes más bajas se encuentran los problemas más graves ya que los ríos ya vienen contaminados con aguas grises provenientes de los poblados vecinos.

Durante toda la engorda se utiliza alimento especialmente formulado para la trucha con los nutrientes: vitaminas y canataxinas necesarios para su buen desarrollo.

La temperatura del agua de los estanque no es controlada ya que al provenir de las montañas altas ya es fría y adecuada para las truchas pero en algunos lugares sobre todo en Cuamatla (poblado de Cahuacán) han modificado las corrientes de los ríos creando cascadas artificiales principalmente para atractivo de los visitantes pero también modifican la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Entrevista con pobladores: Los avistamientos de ajolotes en Sierra de las cruces por pobladores es escaso, se limita a algunas observaciones ocasionales cuando están buscando truchas, entre los principales usos que se le da a *A. altamirani* en Sierra de las cruces son la preparación de tamales de ajolote, aunque actualmente ésta actividad ya no se realiza con frecuencia debido a que no es fácil encontrar a estos individuos, por consiguiente, las nuevas generaciones ya no siguen la costumbre y optaron por dedicarse principalmente al cultivo y venta de trucha. En algunos arroyos (principalmente en Ejido Cahuacán) el uso que aún se les da a los estadíos juveniles de *A. altamirani* es como carnada para pescar truchas. Los pobladores de Sierra de las cruces no ven un interés en mantener las poblaciones de *A. altamirani* ni de *H. plicata* debido a que no ven un ingreso económico directo de estos organismos.

Para los niños que habitan en el poblado “Los Tachos” en Jilotzingo es muy común salir a cazar salamandras como un juego, al golpearlas con piedras y matarlas las llevan a

sus casas para que sus madres las preparen, primero se limpia todo el cuerpo y posteriormente las fríen o las asan para comerlas.

Entrevista con CONAPESCA: Se realizó una entrevista con el Biol. Miguel Ángel Medina Aranda y con el MVZ Fernando Vergara Domínguez cuestionando los requerimientos para otorgar permisos y apoyos que van desde insumos biológicos y organismos reproductores para el desarrollo de cultivos de trucha en el estado de México, así como la alimentación de los individuos y los requerimientos del hábitat.

A diferencia del gobierno de Salinas donde los apoyos económicos era considerado un fondo perdido, ahora se considera un fondo condicionado a una aportación que es dada al productor, desde el gobierno de Vicente Fox el recurso es entregado al proveedor el cuál entrega material, equipo e infraestructura supuestamente con reglas de operación de SAGARPA diario oficial de la federación (última semana de diciembre 2015)

Los requerimientos se limitan a una identificación oficial vigente del interesado (INE), los papeles que acrediten a esa persona como el propietario del terreno donde se pondrá el cultivo y supuestamente se solicita un estudio de impacto ambiental (menos del 5% de los cultivos lo han realizado), cotizaciones para el proyecto de trabajo y los derechos legales del propietario del lugar.

Sólo un 40% de los cultivos son oficialmente registrados en Región Nacional de Pesca y Acuacultura y solamente si son cultivos comerciales reportan producción y reproducción. Los establecimientos compran desde alevines hasta truchas en fase de estabulación (fase final de engorda). Después de ser registrados y otorgarles el apoyo; ni el agua que es vertida nuevamente al arroyo ni los cultivos de trucha tienen algún seguimiento.

El 60% de los cultivos que no están registrados se encuentran funcionando como clandestinos, por consecuencia no se sabe con certeza el número de criaderos que existen ni tampoco el nivel de afectación real que se ha dado por los mismos.

La alimentación comercial es llevada a cabo con alimento granulado (Pellets) debido a que es más económico y fácil que alimentarlos como se hacía tradicionalmente

(con carne molida fresca), con el alimento granulado es fácil administrar las proteínas necesarias para engordar al individuo en poco tiempo y sobre todo controlar el alimento necesario para cada etapa del individuo. La capacidad reproductiva va de 1000 a 1300 huevos por kilo de peso de la hembra esto varía con el genotipo de cada individuo. No se utiliza desparasitante ya que se desconocen los parásitos internos.

Entre algunos de los beneficios que CONAPESCA considera que promueve a la comunidad del Estado de México son; el aprovechamiento del recurso (agua), impulso a la productividad y competitividad y consideran a las truchas que se escapan de los riachuelos como un indicador biológico de la buena calidad del agua.

6.4 AMPLITUD DS:

Color del sustrato: Se encontraron 8 categorías (gris, amarillo, café, verde, negro, beige, mosaico y rojizo). Para *A. altamirani* obtuvimos 0.34, el cual nos indica una ligera inclinación a la especialización, prefiriendo sitios con colores café, negro y mosaico (Figura 14) *O. mykiss* con un resultado de 0.45, en cambio *H. plicata* con un 0.12 muestra una especialización utilizando en su mayoría sustratos verdes y negros para ovopositar, aumentando en gran medida el número de individuos encontrados en estos dos colores (cuadro 1).



Figura 14: *A. altamirani* utilizando sustrato color mosaico.

Sustrato: Se encontraron 9 categorías (arena, grava, lodo, cemento, alga, roca, pasto, musgo y tronco). *A. altamirani* con un valor de amplitud de 0.11, eligiendo arena, grava, cemento pero en su mayoría lodo. *H. plicata* con una amplitud 0.102 (un valor de amplitud muy cercano al presentado por *A. altamirani*) tiene una preferencia por sustratos lodosos y con pasto (figura 15). *O. mykiss* con un valor de amplitud de 0.32 no muestra una marcada preferencia por un sustrato ya que se observó en seis de las nueve categorías de sustrato disponibles, en cambio (cuadro 1).



Figura 15: *H. plicata* (larvas) utilizando sustrato lodoso

Profundidad a la que fueron encontrados: Se dividió la profundidad 8 categorías (0-30, 31-60, 61-90, 91-120, 121-150, 151-180, 181-210 y de 211-240)

A. altamirani con un valor de 0.34 para la amplitud, se localizó en profundidades de no más de 150 cm, los estadíos juveniles se encontraban en profundidades entre 30 a 60 cm. Para *O. mykiss* obtuvimos un valor de amplitud de 0.54 con una amplitud media no mostro una inclinación ni a la especialización ni a ser un organismo generalista. *H. plicata* con una amplitud de 0.105 nos mostró una vez más ser especialista, esta vez observamos

que prefiere profundidades muy bajas, entre los 0 a 60cm, especialmente para ovopositar (Cuadro 1).

Profundidad de lodo: Para esta categoría se dividió cada 5 cm obteniendo 10 categorías. Las tres especies mostraron valores inclinados a la especialización, para el caso de *A. altamirani* con una amplitud de 0.29, se localizaron en sitios con una profundidad de lodo que oscilaba entre 0-10 para organismos metamorfoseados o que mostraban un ligero rastro de branquias y las larvas y juveniles en sitios entre los 11 y 20cm. *O. mykiss* con un valor de amplitud de .089 es totalmente especialista ya que no se encontró en sitios con lodo, sino más bien en arroyos con la ausencia de este sustrato o en su defecto con profundidades de 0 a 15 cm. Para *H. plicata* obtuvimos una amplitud de 0.17 mostrando nuevamente una preferencia para esta característica siendo ocupando sitios lodosos con profundidades desde los 0 hasta 30cm, encontrándose en su mayoría masas de huevo en profundidades de 11 a 15 cm. (cuadro 1).

Parte más Ancha del arroyo: Para el ancho del arroyo se dividió de 50 en 50 cm. obteniendo trece espectros (de 0 a 800cm.) *A. altamirani* con 0.19, con una amplitud baja se inclina a la especialización utilizando arroyos estrechos, *O. mykiss* con 0.31 tiene preferencia por arroyos estrechos aunque algunos individuos fueron encontrados en charcas grandes. Para *H. plicata* el valor de amplitud de 0.081 nos corrobora su preferencia total por sitios anchos (cuadro 1).

Microhábitat: Los microhábitats disponibles para las tres especies fueron; corriente de río, sobre roca, bajo roca, bajo tronco, bajo hoja, entre covacha, bajo lodo, sobre lodo, en poza, en canal, entre basura, en pasto seco (amarillo), en pasto (verde), entre pastos (sumergidos), *A. altamirani* mostro una preferencia amplia con un valor de 0.18 siendo la corriente de río, bajo hoja, en covachas, enterrados en lodo, en poza y bajo roca los sitios dónde se localizaron. Esta característica fue la única en la que *O. mykiss* mostro una amplitud bastante baja 0.025, con una preferencia a las corrientes de ríos debido a su limitante de no poder salir de los riachuelos ni enterrarse en el lodo. *H. plicata* con un valor de amplitud de 0.07 con una preferencia muy fuerte por microhabitats como pozas y

pastos sumergidos (para el caso de las masas de huevo y los renacuajos), para los adultos los sitios de preferencia fue sobre paso verde (cuadro 1).

Concentración de Nitrógeno: Para *A. altamirani* e *H. plicata* el valor de amplitud fue 0 ya que solamente se encontraron en sitios con la mínima concentración de nitrógeno en el agua (0.25), lo cual difiere en el caso de *O. mykiss* debido a que el valor 0.37 nos indica que si tiene preferencia por algunas concentraciones como (1), (0.5) y (2). (Cuadro 1).

| | Ds | | | | | | | |
|----------------------|----------------|----------|------------------------|--------------------|------------------|-------|--------------|-------------|
| | Color sustrato | Sustrato | Profundidad encontrado | Profundidad máxima | Profundidad lodo | Ancho | Microhabitat | []Nitritos |
| <i>A. altamirani</i> | 0.34 | 0.11 | 0.34 | 0.44 | 0.29 | 0.19 | 0.18 | 0 |
| <i>O. mykiss</i> | 0.45 | 0.31 | 0.54 | 0.557 | 0.089 | 0.317 | 0.025 | 0.37 |
| <i>H. plicata</i> | 0.12 | 0.102 | 0.105 | 0.07 | 0.107 | 0.081 | 0.07 | 0 |

Cuadro 1: Amplitud (Ds) Para *A. altamirani*, *H. plicata* y *O. mykiss*

6.5 SOBREPOSICIÓN OJK

Color sustrato: La relación entre *A. altamirani* y *O. mykiss* con un valor de (0.81) se sobreponen fuertemente debido a que ambas mostraron un valor de amplitud similar y la inclinación a la especialización indicó que ambas tienen preferencia por sitios color café y mosaico. La relación entre *H. plicata* y *O. mykiss* con 0.14 indica que existe poca relación entre el uso de esta característica entre ambas especies (cuadro 2).

Tipo de sustrato: La sobreposición que tiene, para el tipo de sustrato en dónde se encontraron *A. altamirani* tanto con *H. plicata* (0.83) como con *O. mykiss* (0.86) muestran una sobreposición marcada que indica que *A. altamirani* comparte en gran medida este recurso con ambas especies, *H. plicata* y *O. mykiss* con un valor de 0.66 también sustratos como algas y rocas, pero la marcada preferencia de *H. plicata* por sustratos lodosos produce una baja sobreposición esta característica (cuadro 2).

Profundidad encontrado: En este caso la mayor sobreposición se encuentra entre *A. altamirani* /*O. mykiss* con un valor de 0.94 encontrándose ambas en profundidades desde 0 a 120cm y seguido de *A. altamirani* /*H. plicata* con 0.935, compartiendo la preferencia por profundidades de 0 a 60 cm, aunque la marcada preferencia de *H plicata* por encontrarse en profundidades no mayores a 60 cm y prefiriendo arroyos con una profundidad máxima de 60 cm, lo separa de tener una sobreposición con *O.mykiss* ya que este último se encontró no solo de 0 a 60 cm sino que se encontró en un gradiente que va desde 0 hasta 150cm y de 181 a 210cm de profundidad indicándonos un valor de sobreposición de 0.79 (cuadro 2).

Profundidad de Lodo: El valor más alto de sobreposición fue entre *A. altamirani* /*O. mykiss* (.71), debido a que ambas especies se encontraban en mayor número en arroyos estrechos. *Hyla plicata* al tener una preferencia total por arroyos o cuerpos de agua con una gran anchura para ovopositar (de hasta 700 cm) lo separa de tener una sobreposición marcada tanto con *A. altamirani* (0.015) como con *O. mykis*. (0.14) (cuadro 2).

Microhábitat: La sobreposición más alta para la utilización del microhábitat específico fue para *A. altamirani*/*Hyla plicata* compartiendo la preferencia de pozas. La sobreposición entre *A. altamirani*/*O. mykiss* (.29) esta vez no presento un valor significativo debido a que *O. mykiss* tiene una marcada preferencia y limitante a las corrientes de río, ninguna *Hyla plicata* fue encontrada en corriente de río alejando totalmente el compartir este microhabitat con *O. mykiss*. (0.0) (cuadro 2).

Concentración de nitratos (NO₃-): La mayor relación se encontró entre *A. altamirani* e *H. plicata* sobreponiéndose totalmente (1), es decir que ambas especies comparten arroyos con la mínima concentración de Nitrato NO₃ en el agua (1.1). *Oncorhynchus mykiss*, sin embargo, se encontró en las cinco concentraciones de Nitratos disponibles (1.1, 2.2, 4.4, 5.5, 8.8) con un valor de sobreposición de .064 con ambas especies (cuadro 2).

| | | | | Ojk | | | | |
|---|----------------|------------------|------------------------|--------------------|---------------------|-------|---------------|--------------|
| | Color sustrato | Tipo de sustrato | Profundidad encontrado | Profundidad máxima | Profundidad de lodo | Ancho | Micro-habitat | [] Nitrogeno |
| A. <i>altamirani</i> / <i>O. mykiss</i> | 0.81 | 0.83 | 0.94 | 0.56 | 0.78 | 0.71 | 0.29 | 0.06 |
| A. <i>altamirani</i> / <i>H. plicata</i> | 0.35 | 0.86 | 0.94 | 0.61 | 0.26 | 0.02 | 0.83 | 1 |
| <i>H. plicata</i> / <i>O. mykiss</i> | 0.14 | 0.66 | 0.795 | 0.44 | 0.23 | 0.14 | 0.00003 | 0.06 |

Cuadro 2: Sobreposición en la utilización del recurso espacio entre *A. altamirani*, *H. plicata* y *O. mykiss*..

6.6 DISTANCIAS EUCLIDEANAS

Los resultados de comparar las distancias entre las tres especies, agrupando todas las características del espacio, se obtuvo como resultado la matriz siguiente (ver cuadro 3). Los resultados arrojan que existe una menor distancia Euclidea entre *A. altamirani* y *O. mykiss* indicando una menor di-similitud.

| | <i>A. altamirani</i> | <i>O. mykiss</i> | <i>H. plicata</i> |
|----------------------|----------------------|------------------|-------------------|
| <i>A. altamirani</i> | 0 | | |
| <i>O. mykiss</i> | 5.797 | 0 | |
| <i>H. plicata</i> | 8.733 | 9.588 | 0 |

Cuadro 3: Matriz de afinidad entre *A. altamirani*, *H.plicata* y *O.mykiss*. agrupando todas las características.

Después de agrupar los valores de la matriz de afinidad, de acuerdo los valores con una menor distancia, observamos en el dendograma una distancia menor entre *A. altamirani* y *O. mykiss* (figura 16) con esto corrobora que los datos entre los sitios ocupados tienen una menor distancia, utilizando sitios con características semejantes.

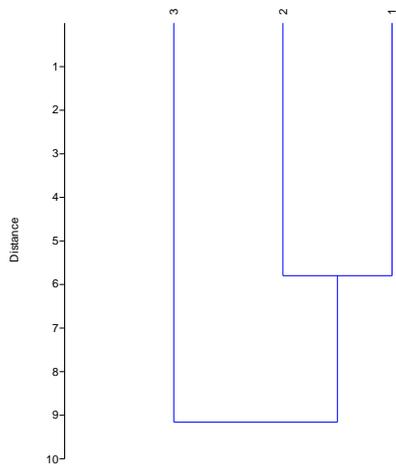


Figura 16 Dendrograma que representa la di-similitud entre *A. altamirani* (1)- *O. mykiss* (2) e *H. plicata* (3).

7. DISCUSIÓN

El presente trabajo se enfocó en analizar la relación espacial de *A. altamirani*, *H. plicata* y *O. mykiss*, comparando las características de los sitios ocupados para poder observar la amplitud, sobreposición y la similitud en la ocupación de las distintas características, así como también las abundancias mensuales para las tres especies en Sierra de las Cruces.

Para el caso de *H. plicata* se observaron en diciembre del 2015 y enero 2016 individuos hibernando debajo de un troncos recién talados junto a la Presa el Llano con nula actividad, esto puede ser debido a que son considerados algunos de los meses más fríos del año, encontrando refugio en este microhábitat, a partir de marzo hasta mayo comenzaron a observarse individuos que arriban a los arroyos pero mostrando un incremento notorio en Abril. A diferencia delo reportado en el 2016 por Lemos-Espinal *et al.* quienes encontraron a *H. plicata* en sitios con sustratos blanco-amarillo y castaño-marrón más que sitios con sustratos negros, nosotros observamos un mayor número de individuos (masas de huevo) ubicados en sustratos lodosos color negro y con una profundidad de lodo de 11 a 15cm en charcas con una baja profundidad de agua que oscilaba entre los 0 y 15cm., lo cual podría resultar benéfico para su supervivencia debido

a que a los individuos de *O. mykiss* les resulta prácticamente imposible poder acceder a estos sitios.

Las masas de huevo fueron encontradas en el mes de junio concordando con Vega-López y Alvarez (1992) quienes registran actividad y ovoposición desde mayo a junio. En julio se encontraron renacuajos de *H. plicata* en etapa terminal, esto puede ser atribuido a que se presentan mejores condiciones para la ovoposición debido a las lluvias presentes en estos meses, lo cual incrementa el número de arroyos por el aumento en el flujo del agua.

Para el mes de octubre no habían sido reportados casos de renacuajos en fase terminal pero en el presente trabajo se observó un cuerpo de agua con 530 individuos en estadio larvario terminal y ranas sin completar la metamorfosis (con cola), Vega-López y Álvarez en 1992, señalan que encontraron renacuajos de la especie en los meses de mayo y junio, en el estadio larvario 36, de 32 mm de longitud total promedio y con una fórmula dentaria 2/3, los renacuajos presentes en el mes de octubre medían 45mm de longitud total promedio, compartiendo el cuerpo de agua con ranas sin completar la metamorfosis (con cola) de 25mm de longitud hocico cloaca. Podría considerarse un factor determinante el que se presentaron fuertes y constantes precipitaciones a finales del mes de Septiembre y principios de Octubre para este año, razón por la cual los adultos de *H. plicata* ovopositaron en cuerpos de agua formados por estas lluvias. Observamos machos adultos de *H. plicata* realizando cantos en las lluvias del mes de abril.

El intervalo altitudinal al que se encontró *H. plicata* fue de 2600- 3486 m corroborando que es el hylido que se encuentra a mayor altitud en México, entre 1500 y 3700 m sobre el nivel del mar (Duellman, 1970; Vega-López y Alvarez, 1992)

A. altimirani nunca fue encontrado en sitios con trucha arcoíris, e *H. plicata* fue observada únicamente en un sitio con trucha arcoíris. Estas observaciones sugieren que hay una fuerte correlación negativa entre la presencia de la trucha arcoíris, y la presencia de *A. altimirani* e *H. plicata*. Estas observaciones son consistentes con estudios previos que encontraron que la presencia o introducción de la trucha reduce o elimina a las poblaciones

nativas de *Ambystoma* (Tyler *et al.*, 1998; Pilliod y Peterson, 2001; Welsh *et al.*, 2006; Pearson y Goater, 2008; Pilliod *et al.*, 2010). Igualmente, hay estudios que demostraron que la introducción de la trucha reduce o elimina a poblaciones de hylidos (Matthews *et al.*, 2001; Knapp, 2005; Welsh *et al.*, 2006).

Adicionalmente es importante resaltar que la elevada concentración de nitratos en el agua va fuertemente ligada a los sitios cercanos a criaderos, Durante la producción piscícola se generan residuos en suspensión y disueltos, constituidos principalmente por alimento no consumido, alimento sin digerir, heces y orina (Cripps y Bergheim 2000), del total del alimento adicionado a un estanque piscícola, entre el 70 % es bioasimilado, lo que significa que entre el 30% se convierte en residuo fecal (Hussar et al. 2004). En Sierra de las Cruces el alimento es administrado en pellets, el cual, acelera el crecimiento de los organismos de trucha por su alto contenido proteico, aunado a que resulta más económico y fácil de usar que el alimento tradicional y sobretodo porque es uno de los suministros que el gobierno mexicano facilita a los productores.

El aumento en la cantidad de Nitratos en el agua provoca el desarrollo de algas tóxicas, y microorganismos patógenos, los cuales afectan indirectamente a la fauna nativa (Rouse *et al.* 1999), directamente afecta a los anfibios debido a que sus membranas (en especial las membranas de las branquias y la piel de las salamandras) son permeables para permitir la entrada de oxígeno pero esta característica también permite la entrada de nitratos, nitritos y amoniaco, especialmente toxico en su forma desionizada (NH₃), penetrando al interior de los tejidos y causando intoxicación directa (Dejours *et al.* 1989).

El hecho de que las características de los arroyos evaluados en cada sitio se sobrepongan, para la mayoría de ellos, y no varíen entre estas tres especies sugiere que las variables ambientales no son responsables de la distribución de estas especies. De particular importancia es que la trucha arcoíris se encuentra en sitios con todas las categorías de complejidad vegetal. *Ambystoma macrodactylum* viviendo en lagos con trucha (*Oncorhynchus* spp.) fue encontrada en las áreas con mayor cantidad de vegetación y la probabilidad de detectar salamandras en lagos con trucha incrementó con la presencia

de una mayor cantidad de vegetación (Kenison *et al.*, 2016). Con todo y esto, no se pudo observar ninguna coexistencia de la trucha arcoíris y *A. altamirani* en ningún sitio de los arroyos evaluados, independientemente de la complejidad vegetal de ellos.

8. CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación proporcionan fuerte evidencia circunstancial de que la acelerada expansión de las granjas de trucha arcoíris cerca de los arroyos de Sierra de Las Cruces ha tenido un impacto negativo en la distribución de anfibios nativos en estos arroyos. Debido a que una de las especies, *A. altamirani*, está enlistada como “En Peligro de Extinción” por la UICN y como “Amenazada” por el gobierno mexicano, y la otra especie, *H. plicata*, está enlistada como “De Preocupación Menor” por la UICN pero “Amenazada” por el gobierno mexicano, es necesario considerar medidas de mitigación para los impactos negativos que causa la introducción de la trucha arcoíris en estos arroyos. Por ejemplo, la remoción de las truchas ha resultado en la recuperación de una rana, *Rana muscosa*, especie cuyas poblaciones habían disminuido por la introducción de truchas en lagos originalmente carentes de este pez (Vredenburg, 2004).

Desafortunadamente, debido a que el establecimiento de las truchas ha sido una actividad fuertemente promovida por el gobierno mexicano y recomendada como una herramienta potencial para la conservación de bosques nativos (López-García *et al.*, 2014; Sosa-Villalobos *et al.*, 2016), es poco probable que las granjas de trucha sean removidas de la Sierra de las Cruces. La mejor estrategia puede ser aislar estas granjas de los arroyos que contienen anfibios nativos, incrementando los esfuerzos para prevenir que los peces de estas granjas escapen, e intentar erradicar a las poblaciones que han escapado hacia los arroyos de esta sierra.

Las actividades antrópicas en la búsqueda de la supervivencia de nuestra especie, no han sido orientadas con criterios de sustentabilidad. El desarrollo de los cultivos de trucha en Sierra de las Cruces no ha sido sostenible y los componentes ambientales han sufrido el impacto negativo como son; modificación del paisaje, desviación, desecación y contaminación de arroyos con compuestos nitrogenados afectando a fases acuáticas de

anfibios adultos, así como etapas embrionarias y larvarias. La introducción de trucha arcoíris a los arroyos de montaña ha desatado una serie de cambios en las poblaciones de anfibios nativos, desplazándolas de sitios con las características que utiliza para sobrevivir. Es necesario crear planes de manejo para las especies nativas y regular la implementación de nuevos criaderos e incrementar esfuerzos para evitar el escape de Truchas en los criaderos ya establecidos.

1. LITERATURA CITADA.

BEEBEE, T. AND R. GRIFFITHS. 2005. The amphibian decline crisis: A watershed for Biology conservation *Biological Conservation*. 125: 271-285

BLAUSTEIN, A. R. AND D. B. WAKE. 1990. Declining amphibian populations: a global phenomenon *Trends in Ecology and Evolution* 5: 203

BROCCHI, P. 1877. Note sur quelques batraciens hylaeformes recueillis au Mexique et au Guatemala. *Bull. Soc. Philom.*1: 122–132.

BURIA, L., R. ALBARINO, V. DÍAZ VILLANUEVA, B. MODENUTTI, AND E. BALSEIRO. 2010. Does predation by the introduced rainbow trout cascade down to detritus and algae in a forested small stream in Patagonia. *Hydrobiologia* 651: 161-172.

CAMBRAY, J.A. 2003. The global impact of alien trout species: A review; with reference to their impact in South Africa. *African Journal of Aquatic Science* 28: 61-67.

CANSECO-MÁRQUEZ, L., GUTIÉRREZ-MAYÉN, G., AND MENDELSON, J. R. 2003. Distribution and natural history of the Hylid frog *Hyla xera* in the Tehuacan-Cuicatlan Valley, Mexico, with a description of the tadpole. *Southwestern Naturalist* 48: 670–675.

CHALLENGER, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad,

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y agrupación Sierra Madre,
México, D.F.

CONSUEGRA, S., N. PHILLIPS, G. GAJARDO AND G.G. DE LEANIZ. 2011. Winning the invasion roulette: Escapes from fish farms increase admixture and facilitate establishment of non-native Rainbow Trout. *Evolutionary Applications* 4: 660-671.

CRAWFORD, S.S., AND A.M. MUIR. 2008. Global introductions of salmon and trout in the genus *Oncorhynchus*: 1870-2007. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18: 313-344.

CRIPPS, S.J., BERGHEIM A. 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacult Eng.* 22(1-2): 33-56.

DEJOURS, P., J. ARMAND, AND H. BEEKENKAMP. 1989. Action de la temperature et de la taille sur la toxicité de l'ammoniac chez l'amphibien anoure *Xenopus laevis*. *Acad. Sci. Paris.* 309:363-368.

DUELLMAN, W. E. 1970. Hylid frogs of Middle America. *Mus. Nat. Hist. Kansas. Monogr.* 1:1-753.

DUELLMAN, W. E. 2001. The Hylid Frogs of Middle America. 2 Vols. *Contributions to Herpetology*, Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Ithaca, New York. 18

DUELLMAN, W. E. Y L. TRUEB. 1986. "Biology of Amphibians." McGraw-Hill, New York.

DUGÈS, A. 1895. Description d'un axolotl des montagnes de Las Cruces (*Amblystoma altamirani*, A. Dugès). Imprimerie du Ministère de Fomento. Institut Medico-National. 6:1

DUGÈS, A. 1896. *Ambystoma altamirani*, A. Dug. *La Natureza.* 2: 459-461

DUNHAM, J.B., D.S. PILLIOD, AND M.K. YOUNG. 2004. Assessing the consequences of nonnative trout in headwater ecosystems in western North America. *Fisheries* 29: 18-26.

- DUNN, E.R.** 1928. A new genus of salamanders from México. Proceedings of the New England Zoölogical Club. 10:55-61
- EHRlich, P.R.** 1986. Which animal will invade? Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii. Ecological Studies. 58: 79–95.
- EPANCHIN, P.R., R.A. KNAPP, AND S.P. LAWLER.** 2010. Nonnative trout impact an alpine-nesting bird by altering aquatic-insect subsidies. Ecology 91: 2406-2415.
- ESCALANTE, M.A., F.J. GARCÍA-DE-LEÓN, C.B. DILLMAN, A. DE LOS S. CAMARILLO, A. GEORGE, I. DE LOS A. BARRIGA-SOSA, A. RUÍZ-LUNA, R.L. MAYDEN, AND S. MANEL.** 2014. Genetic introgression of cultured rainbow trout in the Mexican native trout complex. Conservation Genetics 15: 1063-1071.
- FAO.** Aquaculture topics and activities. Acuicultura. In: FAO departamento de pesca y acuicultura <http://www.fao.org/fishery/aquaculture/es>. 2006-2010. (en línea) 01/01/2016 9:32 pm.
- FRÍAS-ALVAREZ, P., J.J. ZÚÑIGA-VEGA, AND O. FLORES-VILLELA.** 2010. A general assessment of the conservation status and decline trends of Mexican amphibians. Biodiversity and Conservation 19: 3699-3742.
- FROST, D. R.** 2013. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 5.6. <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/> (en línea) 23/03/2017
- FROST, D. R.** 2015. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.0 <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. (en línea) 01/10/2015
- GALL, G. A. E. AND P. A. CRANDELL.** 1992. "The rainbow trout". Aquaculture 100:1-10

GARCÍA-MONDRAGÓN, D., I. GALLEGO-ALARCÓN, A. ESPINOZA-ORTEGA, A. GARCÍA-MARTÍNEZ AND C. M.

ARRIAGA-JORDÁN. 2013. Desarrollo de la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Centro de México. *AquaTIC* 38: 46-56

GARCÍA-PALOMO A., J. J. ZAMORANO, C. LÓPEZ-MIGUEL, A. GALVÁN-GARCÍA, V. CARLOS-VALERIO, R.

ORTEGA, J. L. MACÍAS. 2008. El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 25: 158-178.

GILLESPIE, G., AND H. HINES. 1999. Status of temperate riverine frogs in south-eastern Australia. Pp.

109-130 in A. Campbell, ed. *Declines and Disappearances of Australian Frogs*. Environment Australia, Canberra.

GILLESPIE, G.R. 2001. The role of introduced trout in the decline of the spotted tree frog (*Litoria spenceri*) in south-eastern Australia. *Biological Conservation* 100: 187-198.

HENDRICKSON, D.A., J. ESPINOSA PÉREZ, L.T. FINDLEY, W. FORBES, J.R. TOMELLERI, R.L. MAYDEN, J.L.

NIELSEN, B. JENSEN, G. RUIZ CAMPOS, A. VARELA ROMERO, A. VAN DER HEIDEN, F. CAMARENA, AND F.J. GARCÍA DE LEÓN. 2002. Mexican native trouts: a review of their history and current systematic and conservation status. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 273-316.

HURLBERT, S. H. 1978. The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology* 59:67-77.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION AND NATURE (IUCN). 2015. IUCN red list of threatened

JANCOVICH, J.K., E.W. DAVIDSON, N. PARAMESWARAN, J. MAO, V.G. CHINCHAR, J.P. COLLINS, B.L.

JACOBS, AND A. STORFER. 2005. Evidence for emergence of an amphibian iridoviral disease because of human-enhanced spread. *Molecular Ecology* 14: 213-224.

KARSSING, R.J., N.A. RIVERS-MOORE, AND K. SLATER. 2012. Influence of waterfalls on patterns of association between trout and Natal cascade frog *Hadromophryne natalensis* tadpoles in

two headwater streams in the uKhahlamba Drakensberg Park World Heritage Site, South Africa. African Journal of Aquatic Science 37: 107-112.

KENISON, E. K., R.A. LITT, S.D. PILLIOD AND T. E. MCMAHON. 2016B Larval long-toed salamanders incur nonconsumptive effects in the presence of nonnative trout. Ecosphere 7: 5

KENISON, E.K., A.R. LITT, D.S. PILLIOD, AND T.E. MCMAHON. 2016a Role of habitat complexity in predator-prey dynamics between an introduced fish and larval Long-toed Salamanders (*Ambystoma macrodactylum*). Canadian Journal of Zoology 94:243-249.

KIESECKER, J.M., A.R. BLAUSTEIN, AND C.L. MILLER. 2001. Transfer of a pathogen from fish to amphibians. Conservation Biology 15: 1064-1070.

KNAPP, R.A. 2005. Effects of nonnative fish and habitat characteristics on lentic herpetofauna in Yosemite National Park, USA. Biological Conservation 121: 265-279.

LEMOS ESPINAL, J. A. 2003. Ficha técnica de *Ambystoma altamirani*. Fichas diagnósticas para 10 especies de anfibios y reptiles mexicanos. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W002. México, D.F.

LEMOS-ESPINAL, J. A. AND J. R. DIXON. 2016. Anfibios y Reptiles de Hidalgo, México / Amphibians and Reptiles of Hidalgo, Mexico. CONABIO. 88-90

LEMOS-ESPINAL, J. A., G. R. SMITH, A. HERNÁNDEZ-RUÍZ AND WOOLRICH-PIÑA, G. 2015. Diet of larval *Ambystoma altamiranoi* from Llano de Los Axolotes, Mexico. Current herpetology. 34(1):75-79.

- LEMOS-ESPINAL, J. A., G. R. SMITH, A. HERNÁNDEZ-RUÍZ, AND R. MONTOYA-AYALA.** 2016(a). Natural History of *Hyla plicata* from the Arroyo Los Axolotes, State of Mexico, Mexico. *Current Herpetology*. 35(1):8-13
- LEMOS-ESPINAL, J. A., G. R. SMITH, A. HERNÁNDEZ-RUÍZ, AND R. MONTOYA-AYALA.** 2016(b). Stream use and population characteristics of the endangered salamander, *Ambystoma altamirani*, from the Arroyo Los Axolotes, state of Mexico, Mexico. *Southwestern Naturalists*. 61(1):28-32.
- LEMOS-ESPINAL, J. A., G. R. SMITH, R. E. BALLINGER, & A. RAMÍREZ-BAUTISTA.** 1999. Status of protected endemic salamanders (*Ambystoma*: Ambystomatidae: Caudata) in the transvolcanic belt of México. *British Herpetological Society Bulletin*, 68:1-4.
- LIGHT, T. AND M. MARCHETTI.** 2007. Distinguishing between invasions and habitat changers as drivers of diversity loss among California's freshwater fishes. *Conservation Biology*, 21, 434-446.
- LLORENTE-BOUSQUETS, J., AND S. OCEGUEDA.** 2008. Estado del conocimiento de la biota, en Capital natural de México, *Conocimiento actual de la biodiversidad* 283-322.
- LOEWEN, C.J.G., AND R.D. VINEBROOKE.** 2016. Regional diversity reverses the negative impacts of an alien predator in local species-poor communities. *Ecology* 97: 2740-2749.
- LÓPEZ-GARCÍA, J., L.L. MANZO-DELGADO, AND I. ALCÁNTARA-AYALA.** 2014. Rural aquaculture as a sustainable alternative for forest conservation in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Journal of Environmental Management* 138: 43-54.
- LOWE S., M. BROWNE, S. BOUDJELAS S., AND M. DE POORTER.** 2004. 100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database. *Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI)*. 1: 0-12

MACLENNAN, M.M., C. DINGS-AVERY, AND R.D. VINEBROOKE. 2015. Invasive trout increase the climatic sensitivity of zooplankton communities in naturally fishless lakes. *Freshwater Biology* 60: 1502-1513.

MATTHEWS, K.R., K.L. POPE, H.K. PREISLER, AND R.A. KNAPP. 2001. Effects of nonnative trout on Pacific treefrogs (*Hyla regilla*) in the Sierra Nevada. *Copeia* 2001: 1130-1137.

MCGARVIE HIRNER, J.L., AND S.P. COX. 2007. Effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on amphibians in productive recreational fishing lakes of British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64: 1770-1780.

MERCADO-SILVA, N., J. LYONS, E. DÍAZ-PARDO, S. NAVARRETE, AND A. GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ. 2012. Environmental factors associated with fish assemblage patterns in a high gradient river of the Gulf of Mexico slope. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 117-128.

Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario oficial. http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf (accessed 2 December 2016).

MORALES-SANDOVAL J. M. 2015. Análisis de la dieta de una población del ajolote arroyero de Toluca (*Ambystoma rivulare*) que habita la vertiente noroccidental del Volcán Nevado de Toluca, México (tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Iztacala, México.

NYSTRÖM, P., O. SVENSSON, B. LARDNER, C. BRÖNMARK, AND W. GRANÉLI. 2001. The influence of multiple introduced predators on a littoral pond community. *Ecology* 82: 1023-1039.

ORTEGA, J. 2000. Manejo y alternativas de desarrollo para el cultivo de la trucha arcoíris. SEDAP 5-

20

ORTUBAY, S., V. CUSSAC, M. BATTINI, M. REISSIG, J. YOSHIOKA, AND S. FOX. 2006. Is the decline of birds and amphibians in a steppe lake of northern Patagonia a consequence of limnological changes following fish introduction? *Aquatic Conservation* 16: 93-105.

PARRA-OLEA, G., O. FLORES-VILLELA AND C. MENDOZA-ALMERALLA. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 460-466.

PEARSON, K.J., AND C.P. GOATER. 2008. Distribution of long-toed salamanders and introduced trout in high- and low-elevation wetlands in southwestern Alberta, Canada. *Écoscience* 15: 453-459.

PEARSON, K.J., AND C.P. GOATER. 2009. Effects of predaceous and non-predaceous introduced fish on the survival, growth, and antipredator behaviours of long-toed salamanders. *Canadian Journal of Zoology* 87: 948-955.

PIANKA, E. R. 1986. Ecology and natural history of desert lizards. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

PILLIOD, D.S. AND C.R. PETERSON. 2001. Local and Landscape effects of introduced trout on amphibians in historically fishless watersheds. *Ecosystems* 4: 322-333.

PILLIOD, D.S., B.R. HOSSACK, P.F. BAHLS, E.L. BULL, P.S. CORN, G. HOKIT, B.A. MAXELL, J.C. MUNGER, AND A. WYRICK. 2010. Non-native salmonids affect amphibian occupancy at multiple spatial scales. *Diversity and Distributions* 16: 959-974.

- PRICE, S., M. DORCAS, A. GALLANT, R. KLAVER AND J. WILSON.** 2006. Three decades of urbanization: estimating the impact of land-cover change on stream salamander populations. *Biological Conservation*, 133, 436-441.
- RAMÍREZ-BAUTISTA, A., Y. HERNÁNDEZ-SALINAS, F. MENDOZA-QUIJANO, R. CRUZ-ELIZALDE, P. B. STEPHENSON, D. V. VITE-SILVA AND A. LEYTE-MANRIQUE.** 2010. Lista anotada de anfibios y reptiles del estado de Hidalgo, México.
- RAMÍREZ-PÉREZ, A.** 2008. Herpetofauna del Parque Nacional El Chico y su zona de influencia, Hidalgo, México. (tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México
- REASER, J. K.** 1996. The elicitation of amphibian and reptile conservation 1:4-9
- REILLY, S. M. AND R. A. BRANDON.** 1994. Partial paedomorphosis in the Mexican stream ambystomatids and the taxonomic status of the genus *Rhyacosiredon* Dunn. *Copeia* 1994: 656–662.
- ROJAS-CARRILLO, P.M. AND J.I. FERNÁNDEZ-MÉNDEZ.** 2006. La pesca en aguas continentales. Acuicultura e investigación en México. Comisión de Pesca, Centro de Estudios para el Desarrollo rural Sustentable, Cámara de Diputados 5(4): 227-233.
- RODRIGUEZ, M. F.** 1982. Fernando Obregón y piscicultura en México. SEPSCA, México. 1-84.
- ROSS, A. A. AND J. STEPHEN.** 1999. Global amphibian declines: A problem in applied ecology. *Annual review of Ecology and Systematics* 30: 133-160.
- ROUSE, J. D., C. A. Bishop and J. Struger.** 1999. Nitrogen pollution: an assessment of its threat to amphibian survival. *Environ Health Perspect* 107: 799-803.
- SEMARNAT (SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES).** 2010. Norma Oficial

- SEPULVEDA, M., I. ARISMENDI, D. SOTO, F. JARA, AND F. FARIAS.** 2013. Escaped farmed salmon and trout in Chile: Incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. *Aquaculture Environment Interactions* 4: 273-283.
- SHAFFER B., G. PARRA-OLEA, D. WAKE, AND O. FLORES-VILLELA.** 2004. *Ambystoma altamirani*. en: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species.
- SHELTON, J.M., M.J. SAMWAYS, AND J.A. DAY.** 2015a. Predicting impact of non-native rainbow trout on endemic fish populations in headwater streams in the Cape Floristic Region of South Africa. *Biological Invasions* 17: 365-379.
- SHELTON, J.M., M.J. SAMWAYS, AND J.A. DAY.** 2015b. Non-native rainbow trout change the structure of benthic communities in headwater streams of the Cape Floristic Region, South Africa. *Hydrobiologia* 745: 1-15.
- SHELTON, J.M., M.J. SAMWAYS, J.A. DAY, AND D.J. WOODFORD.** 2016. Are native cyprinids or introduced salmonids stronger regulators of benthic invertebrates in South African headwater streams? *Austral Ecology* 41: 633-643.
- SOSA-VILLALOBOS, C., M. DEL R. CASTAÑEDA-CHÁVEZ, I.A. AMARO-ESPEJO, I. GALAVIZ-VILLA, AND F. LANGO-REYNOSO.** 2016. Diagnosis of the current state of aquaculture production systems with regard to the environment in Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research* 44: 193-201.
- TUREK, K.C., M.A. PEGG, AND K.L. POPE.** 2015. Experimental evaluation of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* predation on longnose dace *Rhinichthys cataractae*. *Ecology of Freshwater Fish* 24: 600-607.

- TUREK, K.C., M.A. PEGG, K.L. POPE, AND S. SCHAINOST.** 2016. Potential population and assemblage influences of non-native trout on native nongame fish in Nebraska headwater streams. *Ecology of Freshwater Fish* 25: 99-108.
- TYLER, C.R., J.P. SUMPTER AND P.M. CAMPBELL.** 1991. Uptake of vitellogenin into oocytes during early vitellogenic development in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.). *J. Fish Biol.*, 38: 681-689.
- TYLER, T., W.J. LISS, L.M. GANIO, G.L. LARSON, R. HOFFMAN, E. DEIMLING, AND G. LOMNICKY.** 1998. Interaction between introduced trout and larval salamanders (*Ambystoma macrodactylum*) in high-elevation lakes. *Conservation Biology* 12: 94-105.
- URIBE- PEÑA, Z., A. RAMÍREZ-BAUTISTA Y G. CASAS-ANDREU.** 1999. Anfibios y reptiles de la serranía del distrito federal, Cuadernos 32: 19.
- VELÁZQUEZ M.A., ESPINOSA M.R.** 1989. Diagnósis del Estado Actual del Cultivo de la Trucha Arco iris de México. Ciudad de México, México. Secretaria de Pesca.
- VIMOS, D.J., A.C. ENCALADA, B. RIOS-TOUMA, E. SUAREZ, AND N. PRAT.** 2015. Effects of high Andean tropical streams. *Freshwater Science* 34: 770-783.
- VONESH, J. R. AND O. DE LA CRUZ.** 2002. Complex life cycles and density dependence: assessing the contribution of egg mortality to amphibian declines. *Oecologia* 133, 325–333.
- VREDENBURG, V.T.** 2004. Reversing introduced species effects: Experimental removal of introduced fish leads to rapid recovery of a declining frog. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 7646-7650.

- WELSH, H.H. JR., K.L. POPE, AND D. BOIANO.** 2006. Sub-alpine amphibian distributions related to species palatability to non-native salmonids in the Klamath mountains of northern California. *Diversity and Distributions* 12: 298-309.
- WILLIAMSON, M.** 1989. Mathematical models of invasions. *Biological Invasions: A Global Perspective*. John Wiley & Sons, Chichester. 329–350.
- WILSON, L.D., J.D. JOHNSON, AND V. MATA-SILVA.** 2013. A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian and Reptile Conservation* 7: 97-127.
- ZAMORA, S., M. BLANCO.** 1986. Diagnostigo de estado actual de la trucha arcoiris en México. 26-35