



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

Porcentaje de ocupación, probabilidades de detección, extirpación, y
colonización en una población del Ajolote Arroyero de Montaña
(*Ambystoma altamirani*), que habita la
Sierra de las Cruces, México

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

Wendoline Gómez Franco

DIRECTOR DE TESIS

DR. JULIO A. LEMOS ESPINAL



LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM a través del proyecto IN202021: Historia natural y demografía del ajolote de arroyo de montaña (*Ambystoma altamirani*) en la Sierra de las Cruces, Estado de México. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida para la realización del presente trabajo.

Con mucho agradecimiento y respeto para el Dr. Julio A. Lemos Espinal por confiar en mí para la realización de este proyecto, su apoyo incondicional, su guía y su paciencia, así como todos los conocimientos impartidos y por los cuales me siento sumamente honrada, ya que es una gran inspiración por su increíble trayectoria.

Para mis padres, Elsa Franco Meneses y Víctor H. Gómez Valdés, esto es para ustedes, gracias por todo el esfuerzo que realizaron para que yo pudiera llegar hasta aquí el día de hoy, así como su apoyo para la realización de este maravilloso proyecto, gracias por confiar en mí cuando yo no podía hacerlo, por alentarme a seguir cuando sentía que no podía lograrlo, pero sobre todo, gracias por su increíble y profundo amor, pues ha sido mi fuerza y mi guía; ustedes son mi inspiración y cada logro mío es dedicado a ustedes.

Para María Rosa Meneses Sánchez por su apoyo incondicional, pero, sobre todo, por su profundo amor y cariño, gracias por acompañarme en cada momento e inspirarme a ser una mujer tan fuerte e increíble como tú.

Para mi mejor amigo en el mundo, mi compañero, mi hermano Maximiliano Gómez Franco. Gracias por tu apoyo incondicional, tu cariño infinito, por acompañarme en este largo camino, por inspirarme y darme fuerzas.

A mis abuelos, Amelia Valdés Sánchez y Tranquilino Gómez Venega, así como a mi tía Mónica Gómez Valdés por su increíble apoyo y confianza en cada paso de este camino.

Para todos aquellos amigos con los que compartí el camino de la biología, por las horas que pasamos juntos en un salón, laboratorio o autobús, con quienes lloré, pero también reí, a aquellos amigos que me alentaron y apoyaron, a quienes me abrazaron, aconsejaron e hicieron de este viaje algo memorable. (Eduardo, Jossael, Akary, Ivan, Ivonne, Gerardo, Raquel, Xiadani)

Finalmente, un agradecimiento a aquellos amigos que, sin formar parte de la biología, me acompañaron en este camino, me han escuchado y se han interesado en las cosas que me apasionan, gracias por quererme, apoyarme y estar de manera incondicional a través de este camino. (Berenice, Paula, Kelly, Montse, Mitzi, Jazmín)

Porqué sin ustedes, nada de esto sería posible.

Índice

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	3
Objetivos	5
Hipótesis	5
Método	5
Descripción del organismo de estudio:	5
Descripción del área de estudio:	6
Trabajo de Campo	9
Análisis de datos	12
Resultados	14
Resultados Generales	14
Ocupación y Detección en Sitios	19
Discusión	23
Conclusiones	25
Literatura Citada	26

Resumen

Ambystoma altamirani es una salamandra endémica a México y está considerada en peligro de extinción por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2020-3) y como amenazada por el gobierno mexicano (SEMARNAT, 2019). Además, está considerada como una especie de alta vulnerabilidad de acuerdo al valor de vulnerabilidad ambiental de Wilson et al. (2013). Examinamos como afectan algunos aspectos del hábitat Terrestre a la abundancia de larvas y adultos de *A. altamirani* en sitios a lo largo del Arroyo los Axolotes. Particularmente nos enfocamos a factores relacionados a los impactos antropogénicos del hábitat terrestre, tales como distancia del arbolado y presencia de ganado. Adicionalmente, medimos características del hábitat acuático (pH, oxígeno disuelto, total de sólidos disueltos, temperatura del agua, profundidad y anchura del arroyo, altura de las paredes del cauce, y permanencia del agua). Encontramos que la abundancia de adultos de *A. altamirani* a lo largo del Arroyo los Axolotes estuvo negativamente afectada por la presencia de ganado, pero la abundancia de larvas de *A. altamirani* no. Adicionalmente, la distancia al arbolado, no afectó la abundancia de adultos o larvas de *A. altamirani*. Un subconjunto de variables ambientales (esto es, PC1 y PC2) tuvo una influencia significativa en la abundancia de adultos y larvas de *A. altamirani*. Encontramos un efecto negativo de la presencia de Ganado sobre la abundancia de adultos de *A. altamirani*, pero no de las larvas.

PORCENTAJE DE OCUPACIÓN, PROBABILIDADES DE DETECCIÓN, EXTIRPACIÓN, Y COLONIZACIÓN EN UNA POBLACIÓN DEL AJOLOTE ARROYERO DE MONTAÑA (*AMBYSTOMA ALTAMIRANI*), QUE HABITA LA SIERRA DE LAS CRUCES, MÉXICO.

Introducción

Actualmente, el grupo de los anfibios enfrenta grandes problemas de conservación a nivel mundial debido su dependencia del agua y a lugares húmedos libres de contaminación. Este problema se agudiza fuertemente con el crecimiento de la población humana que demanda mayores cantidades de este líquido vital provocando el agotamiento de mantos acuíferos y desviando, desecando y contaminando corrientes de agua. Aunado a esto, el calentamiento global limita cada vez más la cantidad de hábitats adecuados para la existencia de los anfibios, de acuerdo con Alan Pounds, el efecto del calentamiento global se magnifica ya que la aparición de hongos patógenos de fácil dispersión, como la quitridiomycosis, producida por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*, parece estar estrechamente relacionada con el calentamiento global del planeta (EFE, 2008, consultada el 21 de febrero, 2021: <https://www.informador.mx/Tecnologia/Calentamiento-global-amenaza-supervivencia-de-anfibios-20080501-0152.html>, Waddle et al., 2020) En México, estas amenazas se agudizan a través de políticas gubernamentales erróneas en el manejo de los recursos naturales. Ejemplo de esto, es la carencia total de planes de ordenamiento ecológico que limiten el crecimiento de las ciudades de acuerdo a los recursos disponibles. La falta de estos planes ha provocado el crecimiento desmedido de ciudades como la de México, que goza de una fama bien ganada por el centralismo industrial y gubernamental que posee (observación personal). Otro ejemplo de las decisiones de gobierno mal tomadas que afectan gravemente a los anfibios es el fomento a la introducción de granjas piscícolas para Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) que de acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN-2021) es la especie de pez más ampliamente introducida a nivel mundial, y es una de las especie más dañinas a la fauna local a través de sus impactos negativos que incluyen hibridación, transmisión de enfermedades, depredación y competencia con especies nativas (<http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=103>, consultada el 21 de febrero, 2021).

Este panorama desalentador es aún más grave en ciertos grupos de anfibios, por ejemplo, el estudio de esta clase de vertebrados está sesgado a los anuros (comúnmente conocidos como ranas y sapos), pues estos son mucho más conspicuos y por lo tanto más fáciles de estudiar. El grupo de los caudados o urodelos (comúnmente conocidos como salamandras) ha sido menos estudiado debido a sus hábitos secretivos que dificultan el estudio de sus poblaciones. Dentro de los caudados se encuentra la familia Ambystomatidae que cuenta con un solo género (*Ambystoma*), en nuestro país conocido comúnmente como ajolotes, o achoques (para la especie del Lago de Pátzcuaro, Michoacán). Este género, cuenta con 37 especie que son endémicas a Canadá, Estado Unidos y México. Dieciocho de estas especies se encuentran en México, y 17 de ellas son endémicas a nuestro país (Frost, 2021).

Los párrafos anteriores resaltan la necesidad de desarrollar estudios sobre la ecología e historia natural de los anfibios de nuestro país, especialmente de las salamandras del género *Ambystoma*. Estudios a través de los cuales se puedan proponer programas de conservación y manejo de sus poblaciones silvestres, de tal forma que se haga todo lo posible para evitar la desaparición de este importante género que, en la actualidad, gracias a la inmensa propaganda que ha recibido la especie de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), goza de gran popularidad.

Los estudios que se desarrollen deberán incluir métodos rigurosos y confiables, que ayuden a conocer cuáles son las condiciones adecuadas para el desarrollo de poblaciones nativas, y que puedan monitorear los cambios que sufren sus poblaciones a través del tiempo y el espacio, y al mismo tiempo agregar conocimiento útil sobre la historia natural de estas poblaciones.

Estas son las razones por las cuales se planteó el presente proyecto de investigación, ya que muy cerca de la Facultad de Estudios Profesionales Iztacala (FES Iztacala), se encuentra la Sierra de las Cruces, la cual es habitada por un número considerable de poblaciones del Ajolote Arroyero de Montaña (*Ambystoma altamirani*: Estrella-Zamora et al., 2018, Lemos-Espinal et al., 1999, 2015b, 2016, Woolrich-Piña et al., 2017, Villanueva-Camacho et al., 2020, Villarreal-Hernández et al., 2019, 2020a,b), la cual está considerada como en peligro de extinción por la UICN en su lista roja del 2020-3 (<https://www.iucnredlist.org/species/59049/11875320> - consultada el 21 de febrero, 2021). En este proyecto, se estudió el porcentaje de ocupación, y las probabilidades de detección, extirpación y colonización, efecto de la presencia de ganado bovino, vacuno y vegetación arbórea a sitios ocupados por *A. altamirani*, así como aspectos de la historia natural de una población del Ajolote Arroyero de Montaña (*A. altamirani*), que habita la Sierra de las Cruces del estado de México.

Antecedentes

El estudio de ambystomátidos mexicanos se remonta a la descripción original de *Ambystoma mexicanum* por Shaw y Nodder (1798), seguida por la única especie no endémica a México, *A. mavortium* (Baird, 1850), posteriormente Dugès en 1870 describió *A. dumerillii*, en 1888 *A. velasci*, y en 1895 *A. altamirani*, 45 años después Taylor describió otras cinco especies (*A. amblycephalum*, *A. bombypellum*, *A. lermaense*, *A. ordinarium* y *A. rivulare*), y poco después otras tres especies: *A. rosaceum* en 1941, *A. leorae* y *A. subsalsum* en 1943, y *A. granulatum* en 1944. En 1963 Dixon describió una especie más (*A. flavipiperatum*), casi 20 años después, Brandon et al. (1982) describieron *A. taylori*, y Krebs y Brandon (1984) describieron *A. andersoni*. La última especie en ser descrita para México fue *A. silvense* (Webb, 2004). Cabe señalar, que actualmente existe la controversia de si *A. subsalsum* es una especie válida o representa poblaciones de *A. velasci*, sin embargo, en este trabajo se sigue el listado proporcionado por Frost (2021) el cual incluye *A. subsalsum*, esto por considerarlo el más acertado.

Recientemente, el estudio de los ambystomatidos mexicanos ha recibido una gran atención, principalmente para aquellas especies que se desarrollan en las montañas que rodean al Valle de México (*Ambystoma altamirani*: Lemos-Espinal et al., 2015a, 2016b; Estrella-Zamora et al., 2018; Heredia-Bobadilla et al., 2017; Woolrich-Piña et al., 2017; *A. rivulare*: Bille, 2009; Legorreta-Balbuena et al., 2014; Barriga-Vallego et al., 2015; Lemos-Espinal et al., 2015b; Heredia-Bobadilla et al., 2016; Woolrich-Piña et al., 2017; *A. leorae*:

Sunny et al., 2014*a,b*; Monroy-Vilchis et al., 2015; Lemos-Espinal et al., 2017; Woolrich-Piña et al., 2017). Sin embargo, varios aspectos de la historia natural de estas especies aún están pobremente estudiados, por ejemplo, conocimiento de depredadores naturales y ciclo reproductivo, por lo que es necesario seguir estudiando a sus poblaciones.

Por otra parte, el uso de modelos de porcentaje de ocupación y probabilidades de detección ha sido bastante amplio en poblaciones de fauna silvestre, pero, los anfibios caudados (salamandras) son los que quizás registran el mayor número de estudios de este tipo. Algunos estudios de ocupación y detección que se han realizado recientemente, son, entre otros, el de Bailey et al. (2004) quienes propusieron y describieron modelos matemáticos para la estimación del porcentaje de ocupación y probabilidades de detección para poblaciones de salamandras terrestres; Campbell-Grant et al. (2009) que estudiaron los porcentajes de ocupación en cuatro especies de salamandras de arroyo (*Eurycea bislineata*, *E. cirrigera*, *Pseudotriton ruber*, y *Desmognathus fuscus*) en Ohio y Virginia, Estados Unidos; Chelgren et al. (2011) analizaron los cambios en la distribución, abundancia, porcentajes de ocupación y probabilidades de detección en bosques quemados de las Montañas Cascada de California para cinco especies de salamandras (*Aneides ferreus*, *Batrachoseps wrighti*, *Ensatina eschscholtzii*, *Plethodon dunni*, y *P. vehiculum*); Gould et al. (2012) estudiaron los porcentajes de ocupación en los parques Yellowstone y Grand Teton, noroeste de Wyoming, Estados Unidos, para *Ambystoma tigrinum*; Lunghi et al. (2015) describieron los porcentajes de ocupación de la salamandra *Hydromantes italicus* en cuevas del centro de Italia; Bázinger (2017) cuantificó la disminución en abundancia y porcentajes de ocupación en la especie *Salamandra salamandra* para las poblaciones de los arroyos de Suiza; Bush et al. (2017) estudiaron la distribución y abundancia a través de modelos de marca-recaptura y ocupación, de poblaciones introducidas de la salamandra *Desmognathus monticola* en el norte de Arkansas, Estados Unidos. En realidad, el número de estudios sobre porcentajes de ocupación y probabilidades de detección es demasiado extenso y sigue creciendo a través del tiempo, los estudios mencionados anteriormente son sólo una muestra pequeña del tipo de modelos matemáticos que recientemente se han estado utilizando en el estudio de poblaciones de salamandras (Villarreal-Hernández et al., 2020a).

Aunque actualmente existe un gran auge en el uso de modelos de ocupación y detección, éste no se ha visto reflejado en poblaciones de salamandras mexicanas. Recientemente, Villarreal-Hernández et al. (2020a) concluyeron un estudio sobre porcentajes de ocupación y probabilidades de detección en la misma población que se estudió en la presente investigación. Sin embargo, debido a limitaciones en uso de equipo como el multímetro y flujómetro, la evaluación de condiciones utilizadas por esta población se hizo únicamente una vez al mes y de forma aleatoria.

Por otra parte, en el presente estudio se analizó cual es el efecto de la presencia de ganado bovino, vacuno y vegetación arbórea sobre los sitios del Arroyo los Axolotes ocupados por *A. altamirani*.

Objetivos

1. Obtener los porcentajes de ocupación del hábitat y probabilidades mensuales de detección, extirpación y colonización de la población de *A. altamirani* que habita en el Arroyo Los Axolotes, mpio. Isidro Fabela, estado de México.
2. Comparar los porcentajes de ocupación del hábitat y probabilidades mensuales de detección, extirpación y colonización de la población entre meses del año para la población de *A. altamirani* que habita en el Arroyo Los Axolotes, mpio. Isidro Fabela, estado de México.
3. Comparar los porcentajes de ocupación del hábitat y probabilidades mensuales de detección, extirpación y colonización de la población entre organismos branquiados y metamorfoseados, para la población de *A. altamirani* que habita en el Arroyo Los Axolotes, mpio. Isidro Fabela, estado de México.
4. Describir aspectos de la ecología de la población (abundancia, distribución, uso de sustratos, proporción de sexos y estructura de tallas) de *A. altarmirani* que habita en el Arroyo Los Axolotes, mpio. Isidro Fabela, estado de México.

Hipótesis

Las probabilidades de detección y colonización serán mayores en la estación de lluvias que en la estación seca, mientras que la probabilidad de extirpación será mayor en la estación seca, y los organismos branquiados tendrán mayores probabilidades de detección en la estación de lluvias, contrario a los organismos metamorfoseados los cuales tendrán mayor probabilidad de detección en la estación seca. Asimismo, el porcentaje de ocupación será mayor en la estación de lluvias que en la estación seca.

Método

Descripción del organismo de estudio:

La familia Ambystomatidae está limitada al norte de América. Se distribuye desde el sur de Canadá y norte de los Estados Unidos hasta el Eje Transvolcánico de la parte central de México. Esta familia está representada por un solo género, *Ambystoma*, y 35 especies, 17 de éstas habitan en México. Ocho de estas especies están consideradas “Críticamente en Peligro de Extinción” en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (*A. amblycephalum*, *A. andersoni*, *A. bombypellum*, *A. dumerilii*, *A. granulatum*, *A. leorae*, *A. mexicanum*, y *A. taylori*); cuatro están consideradas en “Peligro de Extinción” (*A. altamirani*, *A. flavipiperatum*, *A. lermaense* y *A. ordinarium*); otras tres tienen el estatus de “Bajo Riesgo - Preocupación Menor” (*A. mavortium*, *A. rosaceum* y *A. velasci*); y las dos restantes se encuentran con “Datos Insuficientes” para ubicarlas en alguna categoría de protección (*A. rivulare* y *A. silvense*) (<https://www.iucnredlist.org>– consultada el 21 de febrero del 2021).

Ambystoma altamirani es un habitante de arroyos de montañas altas del centro de México, la mayor concentración de sus poblaciones está en la Sierra de las Cruces del estado de México, pero también se ha registrado en la Ciudad de México y el estado de Morelos. Esta especie ocupa arroyos de aguas claras y limpias, altamente oxigenadas y de temperaturas frías. La degradación ambiental antrópica de la Sierra la Sierra de las Cruces está afectando drásticamente las poblaciones de *A. altamirani* por su dependencia de agua en la forma de arroyos libres de contaminación y sitios de humedad alta. Este problema es aún más grave

debido a que desconocemos la ecología poblacional y biología de las poblaciones de este ajolote. Esta degradación ambiental está ocurriendo rapidez y está relacionada con los cambios políticos y económicos de esta región. Desafortunadamente, la tendencia de estos cambios está más orientada a la devastación de los ecosistemas y el incremento de la pobreza debido a la ausencia de prácticas forestales sustentables en la Sierra las Cruces. Es especialmente urgente estudiar los recursos naturales de esta región para poder proponer prácticas sustentables que preserven los recursos naturales de la Sierra de las Cruces (Lemos-Espinal et al., 2015a, 2016a).

Descripción del área de estudio:

La Sierra de las Cruces se localiza en el extremo noroeste del estado de México, su punto más alto está representado por el Cerro de las Navajas con 3,710 m de altitud. Los escurrimientos de esta cima desaguan a una serie de arroyos permanentes que corren a través de praderas y cañadas rodeadas de masas puras de *Pinus hartwegii* y bosques mixtos de *P. hartwegii*, *P. montezumae* y *Abies religiosa*. Estos arroyos corren de noroeste a sureste y alimentan a la Presa Iturbide en el municipio de Isidro Fabela. Las praderas ocupadas por estos arroyos se presentan en un intervalo altitudinal de 2,830 a 3,460 m sobre el nivel del mar (Fig. 1). La primera pradera que recibe las aguas de escurrimiento del Cerro Las Navajas, recibe este mismo nombre, Llano Las Navajas, la cual es una extensa pradera sobre la cara sur del Cerro Las Navajas (Lemos-Espinal et al., 2016a).



Fig. 1 Mapa de la República Mexicana mostrando en rojo el Estado de México, y en amarillo el municipio de Isidro Fabela.

Precisamente, es en el Llano Las Navajas, donde se localiza la población de estudio. Ésta ocupa el Arroyo Los Axolotes, mpio. Isidro Fabela, Sierra de las Cruces, estado de México (19°32'12.2"N, 99°29'52.7"O, 3479 m). El Llano Las Navajas es un extenso pastizal de aproximadamente 100 hectáreas, la vegetación dominante en el pastizal está representada por *Bouteloa* spp., *Festuca* spp., *Muhlenbergia* spp., y *Stipa* spp., este pastizal se encuentra rodeado por un bosque de *Pinus hartwegii*. El Arroyo Los Axolotes corre a lo largo de la orilla sur del pastizal. Aunque este arroyo es permanente, entre diciembre y abril está limitado a un canal principal que incluye varias pozas someras (≤ 3.5 m diámetro, ≤ 1 m profundidad) las cuales se conectan por ramificaciones del canal principal, las cuales presentan un flujo muy lento. En contraste, entre mayo y noviembre, el agua de la superficie fluye en dos canales o cauces principales, los cuales son más profundos y anchos. Varias áreas pantanosas así como arroyos pequeños se observan en el lado noroeste del pastizal. Las actividades humanas están concentradas en la orilla norte del pastizal y éstas consisten en pastoreo de ganado vacuno y bovino y actividades recreativas los fines de semana. La mayoría de las actividades humanas están concentradas a las orillas del pastizal y no parecen afectar grandemente al arroyo o, si lo hacen, únicamente a secciones pequeñas de él, que se encuentran fuera de la sección de estudio. El arroyo está habitado por *A. altamirani*, y la mayoría de los individuos (larvas y adultos) se agregan en la porción del arroyo que corre a través del llano, aunque también se han registrado individuos en las partes del arroyo que corren dentro del bosque.

En este sitio, se presentan lluvias esporádicas desde el mes de abril, incrementando gradualmente su intensidad en los meses de mayo y junio, y mostrando el valor máximo de precipitación media mensual en los meses de julio a octubre. De noviembre a marzo, la precipitación media mensual es casi nula, el flujo de agua en el arroyo disminuye mucho al grado de quedar reducido a delgados hilos de agua que fluyen entre pozas de agua estática. Por otra parte, la temperatura media mensual es relativamente constante, fluctuando entre 12 y 18 grados centígrados. Los valores máximos de precipitación y temperatura medias mensuales coinciden en el mes de agosto (Cuadro 1; Fig. 2) (valores de la estación meteorológica 15231 – “Presa Iturbide” para el periodo 1977 – 2015, generados por Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] – consultada 21 de febrero, 2021: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Mensuales/mex/00015231.TXT>).



Fotografía 1 Llano los Axolotes, mpio. Isidro Fabela,
estado de México – Sierra de las Cruces
Foto por Julio Lemos Espinal

Cuadro 1 Valores mensuales promedio de precipitación y temperatura mensuales obtenidos para un periodo de 34 años (1977-2015 con años faltantes), de la estación meteorológica 15231 – Presa Iturbide, municipio de Isidro Fabela, Estado de México. Los valores se presentan ± 1 Error Estándar (EE). Fuente:

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Mensuales/mex/00015231.TXT>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA – consultada 21 de febrero, 2021)

MES	Precipitación (mm) ± 1 EE	Temperatura (°C) ± 1 EE
Enero	27.333 \pm 1.85	6.8315 \pm 0.097
Febrero	28.578 \pm 2.365	7.7423 \pm 0.099
Marzo	25.615 \pm 1.072	9.0927 \pm 0.096
Abril	45.302 \pm 1.251	10.61 \pm 0.103
Mayo	94.802 \pm 2.865	11.038 \pm 0.093
Junio	257.16 \pm 5.132	11.092 \pm 0.098
Julio	304.09 \pm 4.22	10.704 \pm 0.11
Agosto	291.32 \pm 3.709	10.781 \pm 0.108
Septiembre	276.21 \pm 4.542	10.073 \pm 0.09
Octubre	118.33 \pm 2.906	8.947 \pm 0.089
Noviembre	41.22 \pm 1.835	7.9732 \pm 0.102
Diciembre	14.77 \pm 0.732	6.872 \pm 0.098

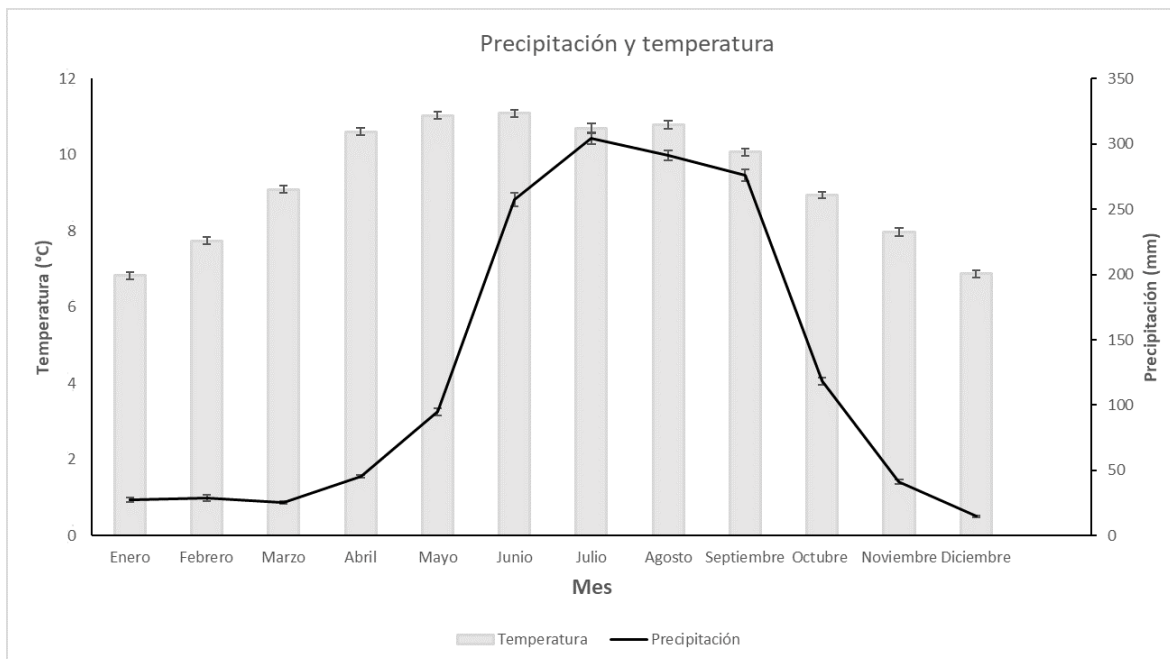


Fig. 2 Variación de la precipitación media mensual (ojiva – polígono de frecuencias) y la temperatura media mensual (histograma – gráfica de barras). Los valores graficados representan el promedio mensual para el periodo de 1977 – 2015 y para la estación meteorológica 15231- “Presa Iturbide”, cada valore mensual se presenta \pm un error estándar (fuente: CONAGUA – consultada 21 de febrero, 2021).

Trabajo de Campo

Se visitó el Arroyo Los Axolotes una vez cada semana, a partir del mes de agosto 2019 y hasta el mes de junio 2020, debido a restricciones de acceso al área de estudio por razones relacionadas a la contingencia sanitaria del COVID-19, no fue posible realizar los muestreos del mes de julio 2020 para cubrir el ciclo anual de muestreos. Estos muestreos semanales se hicieron para registrar la presencia de *A. altamirani* (así como la de otros anfibios). En este arroyo se utilizaron los 25 sitios permanentes establecidos por Villarreal-Hernández (2019), cada uno de ellos tiene 5 m de longitud del arroyo. El inicio de cada una de estas secciones de 5 m está separada 40 m del inicio de la sección próxima sobre el arroyo (Fig. 3). Se utilizaron puntos de referencia de un geoposicionador móvil para identificar el inicio de cada sección, adicionalmente, en la primera visita se marcaron estos puntos de inicio con pintura de color naranja (Cuadro 2). En cada muestreo se revisó minuciosamente cada sección del arroyo para la búsqueda visual de *A. altamirani*, además se utilizó un gancho herpetológico para revisar el fondo del arroyo y las cavidades a los lados de éste con la finalidad de inducir movimientos de cualquier salamandra y así hacerlas más aparentes. Además, se buscó debajo de rocas y otros objetos en cada una de las secciones del arroyo. Se hizo el intento de capturar todas las salamandras observadas, aquellas que fueron observadas pero no capturadas, se registraron como individuos observados. Se utilizó una red acuática para capturarlas y se les tomaron las siguientes medidas: longitud hocico cloaca (LHC; desde la punta del hocico hasta la margen anterior de la cloaca [mm]) utilizando una regla de plástico transparente, y masa corporal de cada individuo (g) utilizando una balanza

electrónica de joyero. Para salamandras adultas se determinó el sexo basándose en la presencia de un abultamiento en la región de la cloaca sobre ambos lados de la cola en el caso de los machos, y en la ausencia de este abultamiento en el caso de las hembras (Brandon y Altig, 1973), y se anotó el estadio de desarrollo de cada salamandra (huevo, larva [organismos con presencia de branquias], adulto [organismos transformados que carecen de branquias]). Todas las salamandras capturadas fueron liberadas en el punto de captura después de haberlas medido. En cada visita se midieron las características del arroyo: la anchura y profundidad del arroyo de cada sitio al cm más cercano con un flexómetro de 3 m, oxígeno disuelto, salinidad, temperatura, pH, sólidos disueltos totales, turbidez y conductividad del agua utilizando un multímetro Hanna modelo HI 98194 (Hanna Instruments, Carrollton, TX), y la velocidad del agua sobre la superficie y sobre la parte media de la columna de agua utilizando un flujómetro manual (Xylem Inc., White Plains, New York). Se caracterizó la vegetación de cada sitio como pastos y hierbas emergentes, algas y plantas acuáticas sumergidas, o sin vegetación. Y se categorizó el color del sustrato como negro, blanco amarillento, o café bronce, para evaluar la posible criptosis de la salamandra con el fondo del arroyo, y el tipo del fondo de arroyo como lodoso, lodoso con grava, grava, rocoso, o arenoso, o las diferentes combinaciones de estos. Además, se estimó la distancia del sitio a la vegetación arbórea más cercana y al tipo de ganado (vacuno o bovino) más cercano, así como el posible pisoteo de este ganado sobre el fondo del arroyo. Asimismo, se anotó la presencia de fauna acompañante (anuros, lagartijas, serpientes, etc.).

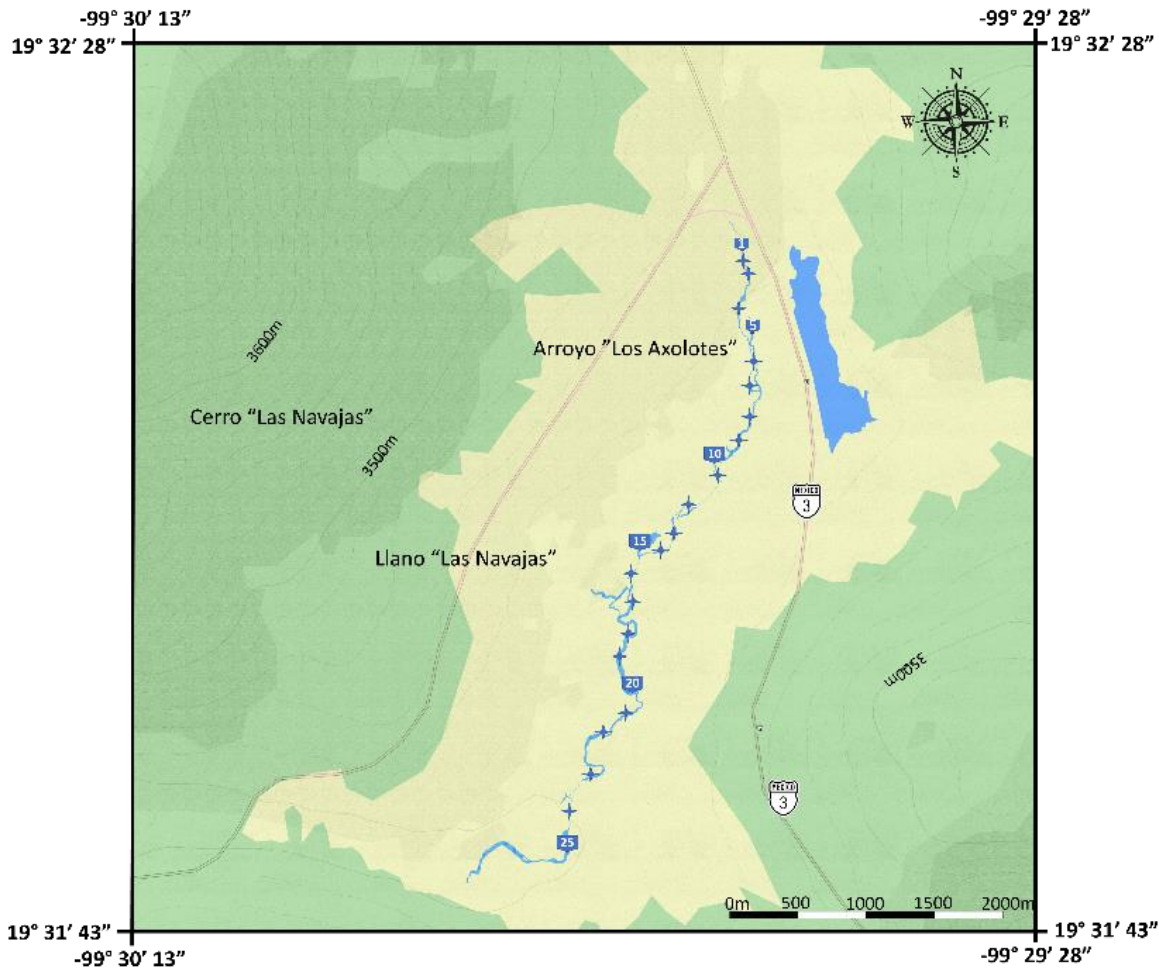


Fotografía 2 Ejemplares de *Ambystoma altimirani* del Arroyo Los Axolotes, mpio. Isidro Fabela, Estado de México – Sierra de las Cruces. Foto por Julio Lemos Espinal

Cuadro 2 Coordenadas geográficas de los 25 sitios de muestreos del Arroyo Los Axolotes, Sierra de las Cruces, municipio de Isidro Fabela, Estado de México. Los sitios están separados entre sí por 40 m (sitios contiguos) haciendo un total de 1,000 m de arroyo Tomado de Villarreal-Hernández (2019).

Sitio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (msnm)
1	19°32'18.8"	- 99°29'44.1"	3,466
2	19°32'18.2"	- 99°29'44.1"	3,466
3	19°32'17.5"	- 99°29'43.8"	3,465
4	19°32'16.1"	- 99°29'44.3"	3,459
5	19°32'14.6"	- 99°29'43.5"	3,459
6	19°32'13.1"	- 99°29'43.5"	3,459
7	19°32'11.9"	- 99°29'43.8"	3,458
8	19°32'10.3"	- 99°29'43.7"	3,458
9	19°32'9.1"	- 99°29'44.3"	3,460
10	19°32'8.1"	- 99°29'45.6"	3,455
11	19°32'7.3"	- 99°29'45.4"	3,458
12	19°32'5.9"	- 99°29'46.9"	3,457
13	19°32'4.5"	- 99°29'47.9"	3,457
14	19°32'3.7"	- 99°29'48.4"	3,457
15	19°32'3.8"	- 99°29'49.4"	3,456
16	19°32'2.5"	- 99°29'50.1"	3,453
17	19°32'1.2"	- 99°29'50.4"	3,451
18	19°32'0.2"	- 99°29'50.0"	3,452
19	19°32'57.5"	- 99°29'50.7"	3,453
20	19°31'56.5"	- 99°29'49.9"	3,450
21	19°31'55.1"	- 99°29'50.0"	3,452
22	19°31'53.0"	- 99°29'52.4"	3,453
23	19°31'50.5"	- 99°29'53.6"	3,451
24	19°31'49.0"	- 99°29'53.7"	3,451
25	19°31'48.4"	- 99°29'54.8"	3,452

Fig. 3 Mapa de la zona de estudio mostrando los 25 sitios de muestreos del Arroyo Los Axolotes, Sierra de las Cruces, municipio de Isidro Fabela, Estado de México. Los sitios están separados entre sí por 40 m (sitios contiguos) haciendo un total de 1,000 m de arroyo. Tomado de Villarreal-Hernández (2019).



Análisis de datos

Los censos repetidos de cada sitio dentro de un mismo mes y entre meses permiten examinar las probabilidades de detección, extirpación y colonización, así como los porcentajes de ocupación del hábitat para *A. altamirani* a lo largo del Arroyo Los Axolotes, así como evaluar la relación entre estas probabilidades y las características del arroyo. Se utilizó el programa de libre acceso PRESENCE Versión 12.32 (última modificación 29 de julio, 2019). para estimar las probabilidades de detección, ocupación, colonización y extirpación, todas ellas dentro del mismo mes y entre los meses (ver MacKenzie et al., 2003; Mazerolle et al. 2007; Mazerolle, 2015 para detalles de estos métodos). En breve, estos métodos son muy similares a los métodos de marcaje y recaptura tal que Pollock (1982) y Pollock et al. (1990) utilizaron datos sobre la presencia y ausencia de individuos observados en cada muestreo para generar estimaciones de las probabilidades de detección y ocupación. Dada la extensión de los muestreos repetidos para múltiples sitios, este diseño permitió una

evaluación rigurosa de las probabilidades de detección y ocupación (ver Bailey et al., 2007). Asimismo, se utilizó el programa PRESENCE para determinar el mejor modelo que describió cuáles características del arroyo influyen sobre las estimaciones de ocupación para cada sección del Arroyo Los Axolotes (por ejemplo, Mazerolle et al. 2007; ejemplos de este tipo de análisis se pueden encontrar en Kroll et al., 2008; Campbell-Grant et al., 2009). Este programa utiliza el criterio de información de Akaike para evaluar cuál es el mejor modelo (Burnham y Anderson, 2002).

El programa PRESENCE es un software que usa Windows como base y que fue desarrollado principalmente para la creación de modelos de ocupación del hábitat y datos de detección/no detección, sin embargo, a través de él también se obtienen las probabilidades de colonización y extinción (extirpación) de sitios entre estaciones (meses). La situación de muestreo básica para estos modelos es que, en una determinada región, unidades de muestreo propiamente definidas son revisadas para establecer la presencia/ausencia de una especie determinada. Sin embargo, debido a una detección imperfecta, la especie no siempre es detectada lo que da lugar a ausencias falsas, las cuales no siempre son consideradas y pueden resultar en conclusiones erróneas sobre la presencia o distribución de la especie. Para resolver este problema de detección, en cada una de las estaciones (en mi caso, en cada uno de los meses) se revisan repetidamente cada una de las unidades de muestreo. La detección/no detección de la especie en cada uno de los muestreos múltiples es registrada proporcionando la información necesaria para separar las ausencias falsas de las ausencias verdaderas.

Las visitas repetidas a una unidad de muestreo producen historias de detección que muestrean la secuencia de detecciones y no detecciones de la especie en esa unidad de muestreo. La historia de detección de los individuos de la especie de interés se ingresa al programa a través de secuencias de unos y ceros, los que respectivamente indican si fue detectado o no en cada una de las unidades de muestreo. Por ejemplo, suponiendo que en la unidad de muestreo número 12 del Arroyo los Axolotes, en un mes específico en el que haya hecho cuatro visitas y encontrando a esa unidad no ocupada en la primera visita, ocupada en la segunda visita, no ocupada en la tercera visita y ocupada en la cuarta visita, su historia de detección sería:

$$h_{12} = 0 \ 1 \ 0 \ 1$$

y la declaración de probabilidad de esa unidad sería:

$$\Pr (h_{12} = 0 \ 1 \ 0 \ 1) = \Psi_{12}(1-p_{12,1})p_{12,2}(1-p_{12,3})p_{12,4}$$

Donde Psi (Ψ_{12}) representa la probabilidad de que la unidad 12 se encuentre ocupada.

Se utilizó un análisis de componentes principales sobre las variables ambientales acuáticas (pH, oxígeno disuelto, total de sólidos disueltos, temperatura del agua, profundidad del agua, ancho de la corriente, altura de las paredes del banco y velocidad del agua). Se conservaron los componentes principales con valores propios ≥ 1 . Para cada sección del Arroyo Los Axolotes (25 secciones en total), se calculó la proporción de visitas durante las cuales se observaron evidencia de ganado y agua en el cauce del arroyo.

Además, se utilizó un modelo mixto para examinar la influencia de las variables terrestres fijas (distancia a los árboles más cercanos, proporción de visitas con evidencia de ganado) y acuáticas (puntajes de componentes principales, proporción de visitas con agua presente en el cauce), así como el día del año (a cada día se le asignó un valor entre 1 y 365 con enero 1 = 1, febrero 1 = 32, etc.) y día del año al cuadrado, lo que permite análisis para relaciones no lineales. Se incluyó el alcance como una variable aleatoria para dar cuenta de múltiples observaciones de cada alcance de estudio.

Adicionalmente, se realizó otro análisis de componentes principales para relacionar la abundancia por sitio muestreado con las características ambientales acuáticas (oxígeno disuelto, temperatura, sólidos disueltos, conductividad, pH, anchura del arroyo, profundidad del arroyo, velocidad de corriente, y altura de las paredes del cauce del arroyo). Esto se hizo tanto para adultos (no branquiados) como para larvas (branquiados) de *A. altamirani*.

Se realizaron análisis separados para la abundancia de adultos y larvas de *A. altamirani*. Se utilizó el programa JMP Pro14 (SAS Institute, Cary, Carolina del Norte) para todos los análisis estadísticos, utilizando un valor α de 0.05 para determinar la significancia estadística.

Resultados

Resultados Generales

Durante el año de estudio (agosto 2019 – junio 2020) se registraron un total de 245 individuos de la especie *A. altarmirani* (Cuadro 3, Fig. 4). De los 245 organismos registrados se pudieron sexar a 150 de ellos, 73 de estos 150 fueron hembras y 77 fueron machos (Cuadro 4). Este número total de hembras y machos no fue diferente a una proporción de sexos 1: 1 ($X^2 = 0.107 < X^2_{1, 0.05} = 3.84$). Aunque el número de individuos registrados en cada muestreo fue relativamente grande, el número de individuos que se pudieron sexar en cada muestreo fue muy pequeño. Esto debido principalmente a dos factores: 1) la mayoría de los individuos observados tuvieron tallas (longitudes hocico cloaca) demasiado pequeñas para poder ser sexados; 2) una cantidad importante de individuos en cada muestreo pudieron ser observados, pero no capturados. Los únicos muestreos con más de diez adultos que pudieron ser sexados fueron el 3 (8 hembras y 4 machos: $X^2 = 1.32 < X^2_{1, 0.05} = 3.84$); el 46 (6 hembras y 7 machos: $X^2 = 0.077 < X^2_{1, 0.05} = 3.84$); el 47 (8 hembras y 3 machos: $X^2 = 2.273 < X^2_{1, 0.05} = 3.84$); y el 48 (9 hembras y 4 machos: $X^2 = 1.923 < X^2_{1, 0.05} = 3.84$). En todos ellos la proporción de sexos no fue significativamente diferente a una proporción 1: 1. El resto de los muestreos no pudo ser evaluado ya que no se alcanzaron, para ninguno de ellos, un valor esperado mínimo de 5 para las categorías a comparar (hembras y machos).

Cuadro 3 Número de individuos registrados en cada muestreo, asociados al número del muestreo y fecha que corresponde a cada muestreo.

Muestreo	Fecha del muestreo	Número de organismos registrados
1	4/8/2019	1
2	11/8/2019	18
3	18/08/2019	17
4	25/08/2019	17
5	1/9/2019	10

6	8/9/2019	10
7	15/09/2019	13
8	22/09/2019	12
9	29/09/2019	6
10	6/10/2019	13
11	13/10/2019	5
12	20/10/2019	4
13	27/10/2019	3
14	3/11/2019	4
15	10/11/2019	6
16	17/11/2019	4
17	24/11/2019	6
18	1/12/2019	3
19	8/12/2019	2
20	15/12/2019	0
21	22/12/2019	0
22	29/12/2019	0
23	5/1/2020	2
24	12/1/2020	3
25	19/01/2020	0
26	26/01/2020	1
27	2/2/2020	4
28	9/2/2020	2
29	16/02/2020	1
30	23/02/2020	1
31	1/3/2020	3
32	8/3/2020	3
33	15/03/2020	2
34	22/03/2020	0
35	29/03/2020	1
36	5/4/2020	3
37	12/4/2020	3
38	19/04/2020	1
39	26/04/2020	2
40	3/5/2020	3
41	10/5/2020	2
42	17/05/2020	1
43	24/05/2020	2
44	31/05/2020	3
45	7/6/2020	5
46	14/06/2020	13
47	21/06/2020	13
48	28/06/2020	17

TOTAL	245
--------------	------------

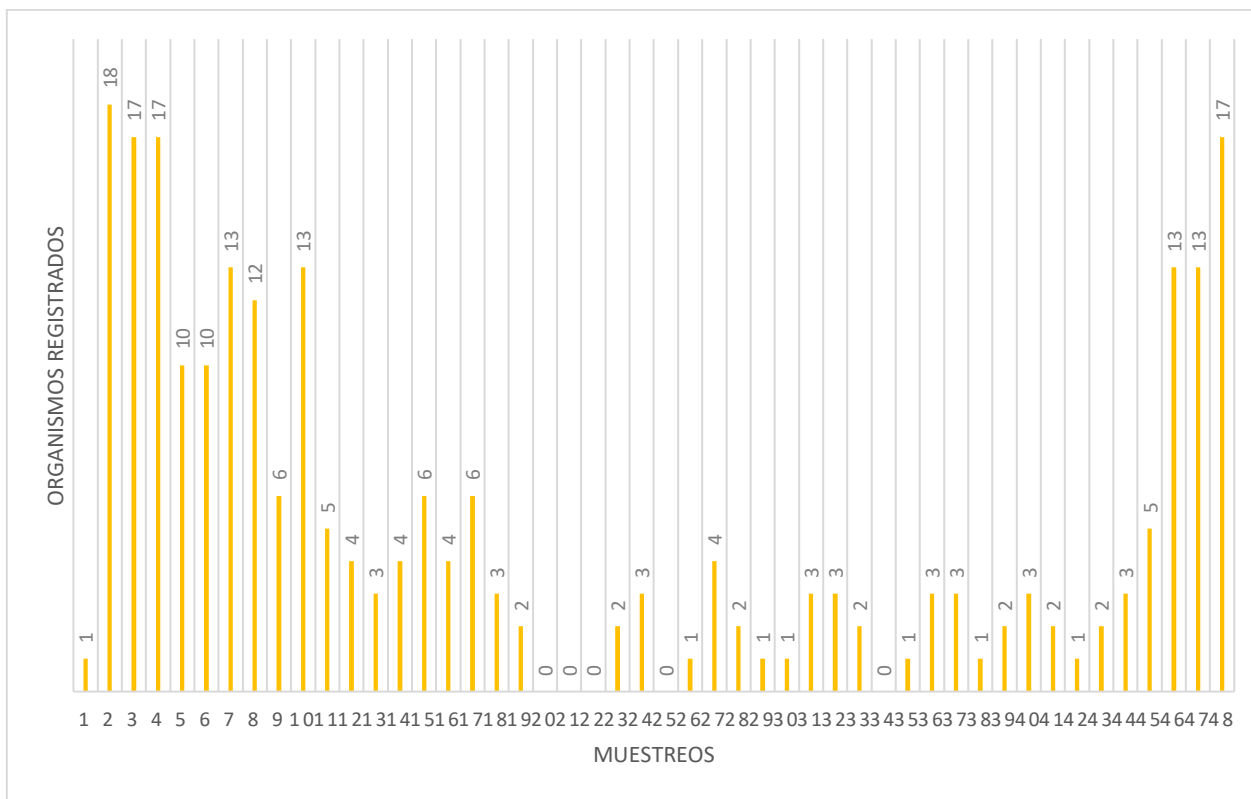


Fig. 4 Número de individuos registrados en cada muestreo.

Cuadro 4 Número de hembras y machos registrados en cada muestreo, con la prueba de X^2 para comprobar si la proporción de hembras y machos es diferente a una proporción 1:1, con la conclusión correspondiente a cada prueba de X^2 . Aquellos muestreos en donde no se obtuvo al menos un valor esperado de hembras o machos de 5 (Σ hembras y machos < 10), no se aplicó la X^2 .

Muestreo	N	hembras	machos	X^2	conclusión
1	1	0	1	No aplica n-esperados < 5	-
2	18	4	4	No aplica n-esperados < 5	-
3	17	8	4	$X^2 = 1.32 < X^2_{1,0.05} = 3.84$	no diferente a 1:1
4	17	0	4	No aplica n-esperados < 5	-
5	10	1	4	No aplica n-esperados < 5	-
6	10	3	4	No aplica n-esperados < 5	-
7	13	5	4	No aplica n-esperados < 5	-
8	12	2	4	No aplica n-esperados < 5	-
9	6	2	4	No aplica n-esperados < 5	-
10	13	1	2	No aplica n-esperados < 5	-

11	5	3	1	No aplica n-esperados < 5	-
12	4	0	2	No aplica n-esperados < 5	-
13	3	2	1	No aplica n-esperados < 5	-
14	4	1	2	No aplica n-esperados < 5	-
15	6	3	1	No aplica n-esperados < 5	-
16	4	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
17	6	1	0	No aplica n-esperados < 5	-
18	3	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
19	2	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
20	0	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
21	0	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
22	0	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
23	2	1	1	No aplica n-esperados < 5	-
24	3	0	1	No aplica n-esperados < 5	-
25	0	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
26	1	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
27	4	1	1	No aplica n-esperados < 5	-
28	2	1	1	No aplica n-esperados < 5	-
29	1	1	0	No aplica n-esperados < 5	-
30	1	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
31	3	1	0	No aplica n-esperados < 5	-
32	3	1	2	No aplica n-esperados < 5	-
33	2	0	2	No aplica n-esperados < 5	-
34	0	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
35	1	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
36	3	1	0	No aplica n-esperados < 5	-
37	3	1	0	No aplica n-esperados < 5	-
38	1	0	0	No aplica n-esperados < 5	-
39	2	2	0	No aplica n-esperados < 5	-
40	3	0	3	No aplica n-esperados < 5	-
41	2	1	1	No aplica n-esperados < 5	-
42	1	1	0	No aplica n-esperados < 5	-
43	2	0	1	No aplica n-esperados < 5	-
44	3	1	4	No aplica n-esperados < 5	-
45	5	1	4	No aplica n-esperados < 5	-
46	13	6	7	$X^2 = 0.077 < X^2_{1,0.05} = 3.84$	no diferente a 1:1
47	13	8	3	$X^2 = 2.273 < X^2_{1,0.05} = 3.84$	no diferente a 1:1
48	17	9	4	$X^2 = 1.923 < X^2_{1,0.05} = 3.84$	no diferente a 1:1
TOTAL	150	73	77	$X^2 = 0.107 < X^2_{1,0.05} = 3.84$	no diferente a 1:1

Cuadro 5 Promedios mensuales para cada uno de los parámetros fisicoquímicos medidos en el arroyo

Promedio															
Mes	mv/ pH	pH	mV ORP	%D. O.	ppm DO	Ms/ cm	MΩ. cm	ppm Tds	psv	°C	psi	anc ho	prof unid ad	pare des libre s	velo cida d
Ago sto	28.3 517	6.54 03	260. 512 8	65.6 866 667	58.6 765 333	38.2 9	0.22 799	21.2 4	0.15 98	125. 714 07	9.85 423	143. 414 141	19.6 1	63.5 6164 38	0.38 181 818
Sep tie mbr e	72.1 87	6.64 69	264. 610 4	59.5 38	4.40 316 387	46.4 5	0.02 600 928	23.2 9	0.02 01	10.9 134	9.79 135	94.1 3	19.1 4	40.5	0.40 808 081
Oct ubr e	37.4 21	6.44 96	221. 004	22.1 48	1.64 36	39.5 1	0.02 456 7	20.6 2	0.01 98	10.6 391	9.76 055	134. 56	21.3 9	46.2 2058 82	0.73 32
Nov iem bre	43.1 08	6.40 21	228. 062	16.1 18	1.25 34	42.9 7	0.03 096 907	22.9 2	0.01 87	8.42 04	9.82 331	103. 12	18.2 2	46.1 25	0.59 8
Dici em bre	57.8 71	6.38 26	262. 875	16.1	1.38 13	47.2 5	0.02 161 1	23.5 8	0.02 09	4.50 46	9.76 962	87.8 571 429	15.9 591 837	45.8 5333 33	0.27 142 857
Ene ro	36.1 41	6.41 787 879	221. 809	16.1	1.34 78	47.6 2	0.02 101 4	24.0 4	0.15 53	6.33	9.79 526	115. 82	14.6	44.0 2702 7	0.12 8
Feb rero	29.1 195 876	6.59 722	213. 523 402	16.1	1.29 298 969	55.3 333 333	0.01 874 124	27.8 659 794	0.02 278 351	8.01 061 856	9.82 537 113	89.3 191 489	14.0 212 766	46.6 0606 06	0.34 782 609
Mar zo	22.7 445 624	6.64 037 948	179. 442 675	16.1	1.26 653 846	75.5	0.01 539 808	37.2 075 472	0.03 509 434	8.92 496 245	9.86 492 453	113. 113 208	16.5 660 377	53.3 1818 18	0.01 132 075
Abri l	23.8 807 692	6.45 173 077	164. 484 615	16.1 846	1.23 442 308	123. 403 846	0.00 873 846	59.8 426 538	0.82 615 385	9.46 173 077	9.83 842 308	77.4 423 077	15.9 615 385	41.4 5652 17	0
May o	25.0 921 875	6.58 625	169. 637 5	16.1	1.31 156 25	110. 25	0.00 953 594	54.2 656 25	0.04 937 5	8.33 531 25	9.87 746 875	113. 343 75	15.0 625	45.5 1785 71	0
Juni o	25.7 884 615	6.59 298 701	245. 081 818	28.7 742 857	3.78 792 208	44.2 564 103	0.01 716 053	31.0 259 74	0.03 077 922	13.2 468 831	9.84 587 013	125	18.3 157 895	44.9 5081 97	0.01 395 349

Ocupación y Detección en Sitios

Se observaron individuos de *A. altamirani* por lo menos una vez en cada mes del periodo de estudio, estos estuvieron distribuidos a lo largo de las 25 estaciones de muestreo, únicamente en los muestreos 20, 21 y 22 (que corresponden al 15, 22 y 29 de diciembre 2019); 25 (que corresponde al 19 de enero 2020); y 34 (que corresponde al 22 de marzo 2020) no se registraron individuos en el arroyo, sin embargo, debido a la presencia de organismos antes y después de esas fechas, y a las clases de talla presentes en ellas (organismos branquiados), estas fechas está caracterizadas por organismos no detectados pero no ausentes, por lo que la presencia de esta especie de salamandra es constante a lo largo de todo el año. Utilizando el programa PRESENCE y el procedimiento de selección de modelos del Criterio de Información Akaike (AIC) el mejor modelo es aquel con tasas de ocupación, extirpación, colonización y detectabilidad constantes, por lo que se espera que el arroyo este ocupado en forma constante a lo largo del año. Este resultado no difiere del encontrado por Villarreal-Hernández (2019) quien desarrolló un trabajo similar entre los años 2018 y 2019. En este estudio el mejor modelo con base al procedimiento de selección de modelos del Criterio de Información Akaike (AIC) fue el modelo con tasas de ocupación, extinción, colonización y detectabilidad constantes el cual se expresa como $\Psi(\cdot)$, $\gamma(\cdot)$, $\epsilon(\cdot)$, $p(\cdot)$. Para el mejor modelo, la tasa de ocupación fue 0.1214 ± 0.052 , la tasa de colonización fue 0.374 ± 0.0511 , la de extirpación 0.2103 ± 0.07002 , y la de detectabilidad fue 0.3571 ± 0.02221 (los valores se presentan ± 1 Error Estándar). No se encontraron diferencias entre meses del año ni clases de branquiados y no branquiados en porcentajes de ocupación o probabilidades de detección, extirpación ni colonización.

El análisis de componentes principales produjo tres componentes principales con valores propios ≥ 1 . El componente principal 1 tuvo fuertes cargas positivas de pH, OD, temperatura del agua y ancho de la corriente (Cuadro 5). El componente principal 2 tuvo fuertes cargas positivas de altura de las paredes del cauce y velocidad del agua y cargas negativas para pH y total de sólidos disueltos (Cuadro 5). El componente principal 3 tuvo fuertes cargas positivas de OD y profundidad del agua y cargas negativas de ancho de corriente y velocidad del agua (Cuadro 5).

Cuadro 6 Valores de los tres componentes principales que se generaron para las variables ambientales acuáticas en las secciones estudiadas a lo largo del Arroyo los Axolotes

	CP1	CP2	CP3
pH	0.59008	-0.40852	-0.01431
Oxígeno Disuelto	0.64403	0.06631	0.39571
Total de sólidos disueltos	-0.11305	-0.63117	0.08768
Temperatura del agua	0.80809	0.04969	0.15513
Ancho del arroyo	0.49363	-0.07268	-0.42730
Profundidad del arroyo	-0.02031	0.34526	0.69611
Altura de las paredes del cauce	-0.04525	0.66256	0.06692
Velocidad del agua	0.26677	0.59872	-0.50138
Porcentaje de la variación explicado	21.83%	18.68%	13.89%

La sección de arroyo no afectó significativamente la abundancia de adultos de *A. altamirani* (Wald P = 0.15). Hubo efectos significativos en el día del año, tanto lineales como cuadrados, sobre

la abundancia de adultos de *A. altamirani* (Cuadro 6), con un pico a principios de agosto (Figura 5A). Hubo un efecto negativo significativo de la proporción de días en que se observó ganado en un tramo de estudio sobre la abundancia de *A. altamirani* adulto (Cuadro 6; Figura 5B). El componente principal 1 y el componente principal 2 tuvieron efectos positivos significativos sobre la abundancia de *A. altamirani* adultos (Cuadro 6; Figura 5C, D). Ninguna otra variable resultó significativa (Cuadro 6).

Cuadro 7 Resultados del análisis del modelo mixto para adultos de *Ambystoma altamirani* a lo largo del Arroyo los Axolotes

Término	gl	F	P	Parámetro Estimado (\pm E.E.)
Intercepción				0.477 ± 0.398
Día del año (d)	1, 609	8.79	0.0031	0.0039 ± 0.0013
Día del año al cuadrado (d ²)	1, 583	9.90	0.0017	-0.000011 ± 0.000004
Proporción de días con agua	1, 27	0.018	0.89	0.045 ± 0.34
Proporción de días con ganado	1, 17	5.53	0.031	-2.80 ± 1.19
Distancia a los árboles	1, 25	2.61	0.12	-0.0006 ± 0.0003
CP1	1, 26	6.75	0.0099	0.083 ± 0.032
CP2	1, 107	15.24	0.0002	0.118 ± 0.030
CP3	1, 104	1.59	0.21	-0.053 ± 0.042

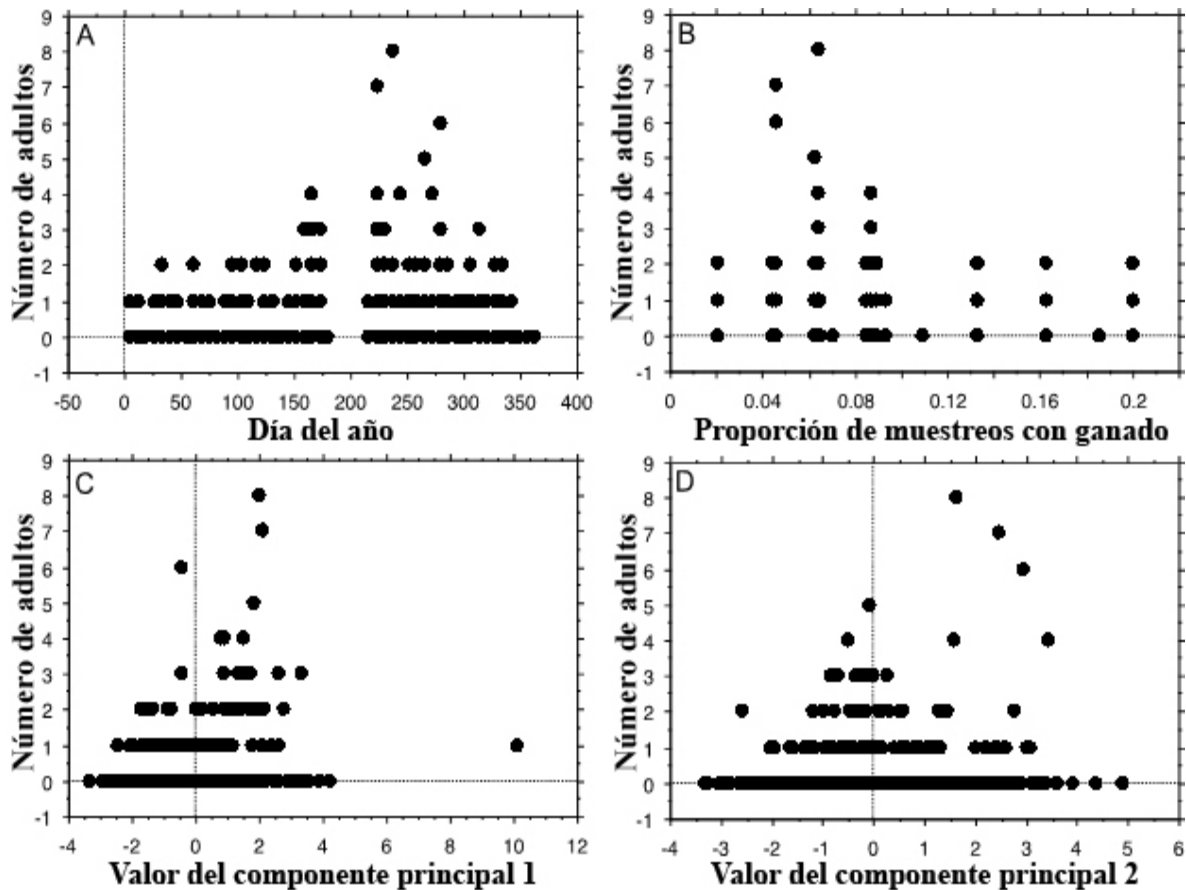


Figura 5 Relaciones entre A) día del año, B) proporción de muestreos en que se observó ganado, C) componente principal 1 y D) componente principal 2 sobre la abundancia de adultos de *Ambystoma altamirani* en las secciones de estudio del Arroyo Los Axolotes.

La sección de arroyo no afectó significativamente la abundancia de larvas de *A. altamirani* (Wald P = 0.50). El componente principal 1 y el componente principal 2 tuvieron cada uno un efecto positivo significativo sobre la abundancia de larvas de *A. altamirani* (Cuadro 7; Figura 6A, B). Ninguna otra variable tuvo efectos significativos sobre la abundancia de larvas de *A. altamirani* (Cuadro 7).

Cuadro 8 Resultados del modelo de análisis mixto para larvas de *Ambystoma altamirani* a lo largo del Arroyo Los Axolotes.

Término	gl	F	P	Parámetro Estimado (\pm E.E.)
Intercepción				-1.79 \pm 1.73
Día del año (d)	1, 510	2.02	0.16	0.010 \pm 0.007
Día del año al cuadrado (d ²)	1, 477	1.40	0.24	-0.000023 \pm 0.000020
Proporción de días con agua	1, 48	1.98	0.17	2.08 \pm 1.48
Proporción de días con ganado	1, 18	1.08	0.31	-4.46 \pm 4.30
Distancia a los árboles	1, 20	1.15	0.30	0.0014 \pm 0.0013
CP1	1, 196	10.68	0.0013	0.65 \pm 0.20
CP2	1, 71	4.37	0.04	0.30 \pm 0.14
CP3	1, 61	0.06	0.80	-0.056 \pm 0.22

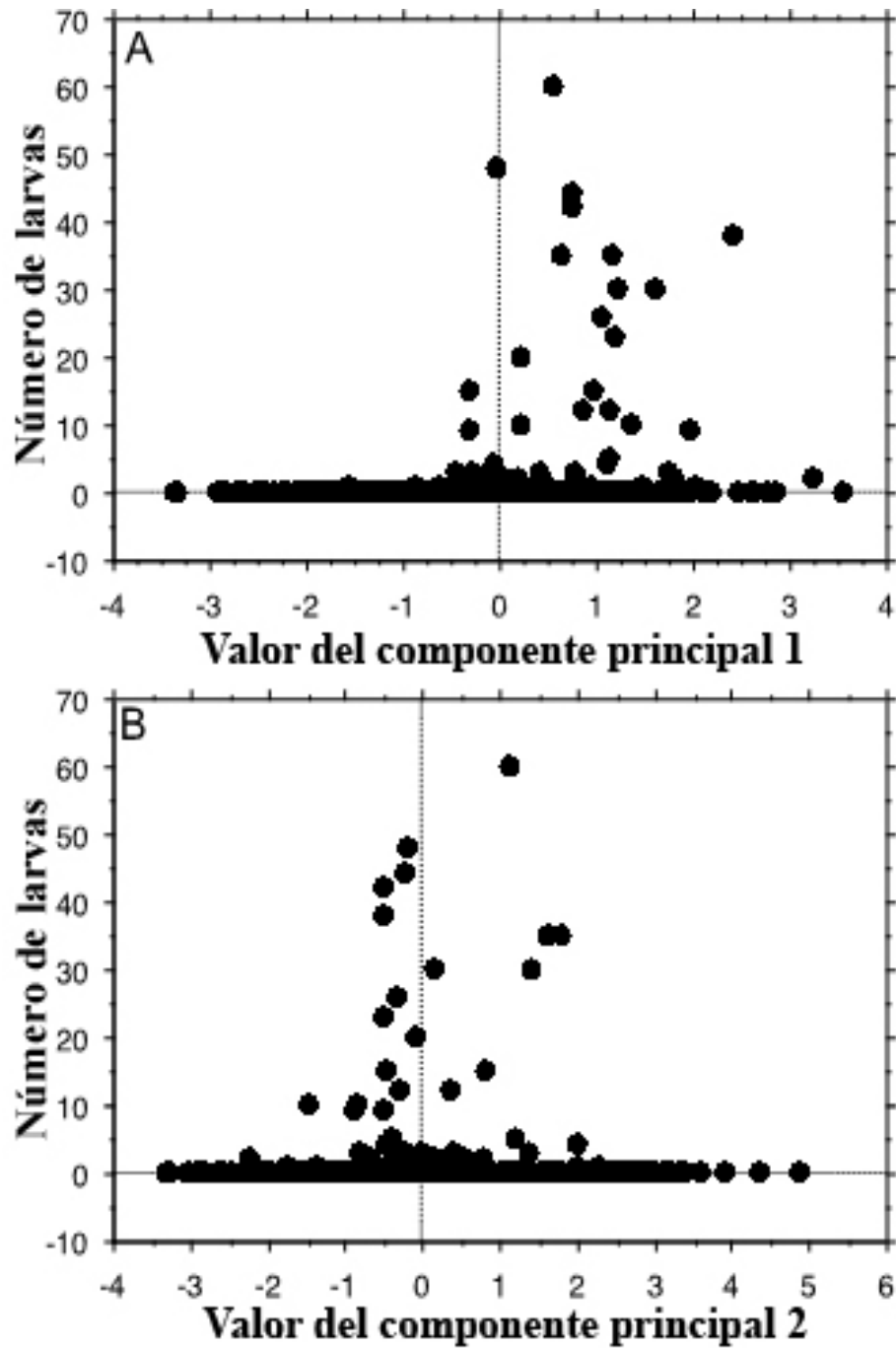


Figura 6 Relación entre A) componente principal 1 y B) componente principal 2 sobre la abundancia de larvas de *Ambystoma altamirani* en las secciones de estudio del Arroyo los Axolotes.

Discusión

El mejor modelo de tasas de ocupación, extirpación, colonización y detectabilidad sobre la presencia de *A. altamirani*, de acuerdo al programa PRESENCE y los Criterios de Información Akaike (AIC) es el de tasas constantes ($\Psi(\cdot)$, $\gamma(\cdot)$, $\epsilon(\cdot)$, $\mathbf{p}(\cdot)$), este modelo no cambia entre meses o clases de organismos branquiados y no branquiados y coinciden con el modelo reportado por Villarreal-Hernández (2019), quien también encontró que estas tasas son constantes a lo largo del año. Sin embargo, la abundancia de adultos de *A. altamirani* a lo largo del Arroyo los Axolotes se vio afectada negativamente por la presencia de ganado, pero la abundancia de larvas de *A. altamirani* no se vio afectada. Además, la otra variable ambiental terrestre, la distancia a los árboles más cercanos, no afectó la abundancia ni de adultos ni de larvas de *A. altamirani*. Un subconjunto de las variables ambientales acuáticas (es decir, el componente principal 1 y el componente principal 2) tuvo una influencia significativa en la abundancia de adultos y larvas de *A. altamirani*.

Además, se encontró un efecto negativo de la presencia de ganado en una sección del arroyo sobre la abundancia de adultos de *A. altamirani*, pero no de larvas. Este efecto ocurrió a pesar de que la presencia de ganado es relativamente mínima a lo largo del Arroyo los Axolotes (la mayor proporción de visitas con evidencia de presencia de ganado para una sola sección del arroyo fue del 20%). En otros estudios, los efectos del ganado, principalmente el pastoreo de ganado, han tenido una variedad de efectos sobre las salamandras ambystomátidas. El pastoreo del ganado es benéfico para *Ambystoma californiense* al mantener el hidro-periodo adecuado de las charcas vernaes (Pyke y Marty, 2005), mientras que el pastoreo de ganado tiene un efecto potencialmente negativo sobre el tamaño de la población de *Ambystoma mavortium* (Storfer et al., 2014). Otros estudios han reportado que el pastoreo de ganado tuvo poco efecto sobre la ocupación de los humedales por *Ambystoma californiense* (Joseph et al., 2016).

No se encontró efecto de la proximidad de árboles al Arroyo los Axolotes y la abundancia de *A. altamirani*. Este resultado es consistente con observaciones previas de *A. altamirani* en otro arroyo. A lo largo del Llano de Lobos, los pocos tramos que tenían *A. altamirani* eran los que estaban más alejados del bosque y eran tramos con impactos antropogénicos menos directos (por ejemplo, basura y desechos orgánicos); sin embargo, dada la muy baja presencia de *A. altamirani* a lo largo del Llano de Lobos, estas observaciones no pudieron ser evaluadas cuantitativamente (Villanueva-Camacho et al., 2020). Esto parece ser particularmente problemático para las salamandras ambystomátidas mexicanas que a menudo se encuentran en arroyos rodeados de bosques, especialmente bosques de coníferas (Hernández et al., 2019). Por ejemplo, en el centro de México, la distribución de *Ambystoma ordinarium* se ve afectada negativamente por la deforestación que está ocurriendo rápidamente en la región (Escalera-Vázquez et al., 2018; Hernández-Guzmán et al., 2019). Gran parte del trabajo anterior que examina los efectos del hábitat terrestre sobre las salamandras ambystomátidas se ha realizado en ecosistemas templados. Este trabajo sugirió que varias poblaciones y especies de *Ambystoma* se ven afectadas negativamente por la eliminación de hábitats boscosos que rodean humedales o arroyos (por ejemplo, Niemiller et al., 2009; Peterman et al., 2013; Scheffers et al., 2013; Osbourn et al., 2014). Además, la población de *Ambystoma maculatum* fue más densa en estanques que estaban más cerca del bosque nativo (Waldick et al., 1999) y la abundancia de Salamandras

de Manchas Azules (*Ambystoma laterale*) se relacionó con la extensión de los bosques dentro de los 200 m de un humedal (Brodman et al., 2003). Sin embargo, algunas especies de *Ambystoma* se beneficiadas de un dosel más abierto (Gorman et al., 2009).

En términos de características ambientales acuáticas, tanto para adultos como para larvas de *A. altamirani*, la abundancia en secciones del Arroyo Los Axolotes se relacionó positivamente con los componentes principales 1 y 2. Este resultado sugiere que la distribución de *A. altamirani* a lo largo del Arroyo los Axolotes está asociada positivamente con el oxígeno disuelto, la temperatura del agua, el ancho del arroyo, la altura de las paredes del arroyo y la velocidad del agua, y está negativamente asociado con el total de sólidos disueltos. El efecto positivo del pH en el componente principal 1 y su efecto negativo en el componente principal 2 indican que su relación con la abundancia de *A. altamirani* no es clara. A lo largo de los arroyos en el noreste de la Sierra de las Cruces, se encontró *A. altamirani* en sitios que eran más estrechos que los sitios sin *A. altamirani*, pero no hubo diferencia entre sitios con y sin *A. altamirani* en cuanto a profundidad del arroyo, profundidad del lodo o complejidad de la vegetación (Estrella Zamora et al., 2018). La abundancia de *A. altamirani* a lo largo del Arroyo los Axolotes parece estar influenciada por la permanencia de las secciones del arroyo, con más individuos observados en secciones de arroyo que nunca se secaron comparadas con las que sí lo hicieron (Villarreal-Hernández et al., 2020a). *Ambystoma altamirani* utilizó sustratos de barro con mayor frecuencia y sustratos de roca de uso poco frecuente (Villarreal-Hernández et al., 2020b). Los individuos de *Ambystoma altamirani* están asociados con secciones de arroyo a lo largo del Arroyo los Axolotes que contienen más agua (es decir, secciones más profundas y anchas), mayores niveles de oxígeno disuelto y velocidades del agua más altas, con sustratos de barro y arena y vegetación herbácea (Lemos-Espinal et al., 2016b).

La ocupación de estanques por *Ambystoma opacum* aumentó con el pH, y tanto *A. mabeei* como *A. opacum* se encontraron en estanques con un pH tan bajo como 3.66 (Fairman et al., 2013). La salamandra de manchas azules (*Ambystoma laterale*) no se relacionó con el pH, la turbidez ni el oxígeno disuelto (Brodman et al., 2003). Mientras que la abundancia de *Ambystoma tigrinum* en los humedales se relacionó con la turbidez, pero no con el pH ni el oxígeno disuelto (Brodman et al., 2003).

La mayor abundancia de adultos de *A. altamirani* se observó a principios de agosto 2019 (desafortunadamente la pandemia COVID-19 impidió recolectar datos en julio). Las observaciones aquí obtenidas son consistentes con observaciones previas de *A. altamirani* a lo largo del Arroyo los Axolotes. La reproducción de *A. altamirani* en el Arroyo los Axolotes parece ocurrir de abril a agosto (Villarreal Hernández et al., 2019). La reproducción en el Llano de Lobos ocurrió en diciembre y enero (Villanueva Camacho et al., 2020). La abundancia de *A. altamirani* fue mayor en junio y julio de 2018 (Villarreal Hernández et al., 2020a; ver también Lemos-Espinal et al., 2016). Mientras que, en Llano de Lobos *A. altamirani* tuvo una abundancia relativamente constante entre meses (Villanueva Camacho et al., 2020).

Conclusiones

En conclusión, la abundancia de *A. altamirani* a lo largo del Arroyo los Axolotes está relacionada con una variedad de factores, tanto acuáticos como terrestres. De particular preocupación desde una perspectiva de conservación y manejo es el efecto negativo de la presencia de ganado en la abundancia de adultos de *A. altamirani*, incluso en los niveles relativamente bajos observados en el Arroyo los Axolotes. Este estudio confirma aún más el impacto negativo de las actividades humanas en esta especie. Además de los efectos de la ganadería mostrados aquí, la introducción de Trucha Arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*) no nativa a los arroyos (Estrella Zamora et al., 2018) y el nivel de recreación humana e impactos directos de la basura (Villanueva Camacho et al., 2020) han demostrado limitar la presencia y abundancia de *A. altamirani* en arroyos en las montañas que rodean la Ciudad de México. Estos resultados sugieren fuertemente que es imperativo minimizar la expansión de la influencia humana en los hábitats donde se encuentran estas salamandras en peligro de extirpación.

Literatura Citada

- Bailey, L. L., Hines, J. E., Nichols, J. D., & MacKenzie, D. I. (2007). Sampling design trade-offs in occupancy studies with imperfect detection: examples and software. *Ecological applications*, 17(1), 281–290. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2007\)017\[0281:SDTIOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2007)017[0281:SDTIOS]2.0.CO;2)
- Bailey, L. L., Simons, T. R., & Pollock, K. H. (2004). Estimating site occupancy and species detection probability parameters for terrestrial salamanders. *Ecological Applications*, 14(3), 692–702. <https://doi.org/10.1890/03-5012>
- Baird, S. F. (1850). Revision of the North American tailed-batrachia, with descriptions of new genera and species. *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 281–294.
https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/35245/JournalofPhil_Baird.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bänziger, S. (2017, March). Quantifying and explaining the decline in the occupancy of fire salamander populations (Tesis). *University of Zurich, Switzerland*.
https://www.unine.ch/files/live/sites/karch/files/Doc_a_telecharger/Diplomarbeiten/Master_Sarah%20Baenziger_2016.pdf
- Barriga-Vallejo, C., Hernández-Gallegos, O., Herbing, I. H. V., López-Moreno, A. E., Ruíz-Gómez, M. L., Granado-Gonzales, G., Garduño-Paz, M. V., Méndez-Sánchez, J. F., Banda-Leal, J., & Davis, A. K. (2015). Assessing population health of the Toluca axolotl *Ambystoma rivulare* (Taylor, 1940) from Mexico, using leukocyte profiles. *Herpetological Conservation and Biology*, 10(2), 592–599.
https://www.researchgate.net/publication/282710087_Assessing_population_health_of_the_toluca_axolotl_Ambystoma_rivulare_Taylor_1940_from_Mexico_using_leukocyte_profiles
- Bille, T. (2009). Field observations on the salamanders (Caudata: *Ambystomatidae*, *Plethodontidae*) of Nevado de Toluca, Mexico. *Salamandra*, 45(3), 155–164.
https://www.researchgate.net/publication/200564936_Field_observations_on_the_salamanders_Caudata_Ambystomatidae_Plethodontidae_of_Nevado_de_Toluca_Mexico
- Brandon, R. A., & Altic, R. C. (1973). Eggs and small larvae of two species of *Rhyacosiredon*. *Herpetologica*, 29(4), 349–351. https://www.jstor-org.pbidi.unam.mx:2443/stable/3891573?seq=1#metadata_info_tab_contents
- Brandon, R. A., Maruska, E. J., & Rumph, W. T. (1982). A new species of neotenic *Ambystoma* (*Amphibia*, *Caudata*) endemic to Laguna Alchichia, Puebla, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 80, 112–125.
<https://www.biodiversitylibrary.org/page/34211429#page/498/mode/1up>

- Brodman, R., Ogger, J., Bogard, T., Long, A. J., Pulver, R. A., Mancuso, K., & Falk, D. (2003). Multivariate analyses of the influences of water chemistry and habitat parameters on the abundances of pond-breeding amphibians. *Journal of Freshwater Ecology*, 18(3), 425–436. <https://doi.org/10.1080/02705060.2003.9663978>
- Bush, C. L., Guzy, J. C., Halloran, K. M., Swartwout, M. C., Kross, C. S., & Willson, J. D. (2017). Distribution and abundance of introduced seal salamanders (*desmognathus monticola*) in northwest Arkansas, USA. *Copeia*, 105(4), 678–688. <https://doi.org/10.1643/ch-17-579>
- Chelgren, N. D., Adams, M. J., Bailey, L. L., & Bury, R. B. (2011). Using multilevel spatial models to understand salamander site occupancy patterns after wildfire. *Ecology*, 92(2), 408–421. <https://doi.org/10.1890/10-0322.1>
- CONAGUA. (s.f.). Comisión Nacional de Agua. Proyecto de Bases de Datos Climáticos <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Mensuales/mex/00015231.TXT>
- Dixon, J. R. (1963). A new species of salamander of the genus *Ambystoma* from Jalisco, Mexico. *Copeia*, 1963(1), 99. <https://doi.org/10.2307/1441275>
- Dugès, A. (1895). Description d'un Axolotl des Montagnes de las Cruces (*Ambystoma altamirani*, A. Dugès). *Mexico : Imprimerie Du Ministère de "Fomento,"* 3–7. <https://collections.nlm.nih.gov/bookviewer?PID=nlm:nlmuid-101175372-bk#page/1/mode/2up>
- Dugès, A. A. D. 1870. Una nueva especie de ajolote de la Laguna de Pátzcuaro. *La Naturaleza. México I*: 241–244.
- Dugès, A. A. D. 1888. Erpetología del Valle de México. *La Naturaleza. Serie 2. México I*: 97–146
- Escalera-Vázquez, L. H., Hernández-Guzmán, R., Soto-Rojas, C., & Suazo-Ortuño, I. (2018). Predicting *Ambystoma ordinarius* habitat in Central Mexico using species distribution models. *Herpetologica*, 74(2), 117–126. <https://doi.org/10.1655/herpetologica-d-16-00078.1>
- Estrella-Zamora, A. B., Smith, G. R., Lemos-Espinal, J. A., Woolrich-Piña, G. A., & Montoya-Ayala, R. (2018). Effects of nonnative *Rainbow Trout* on two species of endemic Mexican amphibians. *Freshwater Science*, 37(2), 389–396. <https://doi.org/10.1086/697700>
- Fairman, C. M., Bailey, L. L., Chambers, R. M., Russell, T. M., & Funk, W. C. (2013). Species-specific effects of acidity on pond occupancy in *Ambystoma* salamanders. *Journal of Herpetology*, 47(2), 346–353. <https://doi.org/10.1670/12-019>

- Fairman, C. M., Bailey, L. L., Chambers, R. M., Russell, T. M., & Funk, W. C. (2013). Species-specific effects of acidity on pond occupancy in *Ambystoma* salamanders. *Journal of Herpetology*, 47(2), 346–353. <https://doi.org/10.1670/12-019>
- Frost, D.R. 2021. Amphibian species of the world: an online reference. Version 6.0 (Consultada el 21 Febrero, 2021). Electronic Database accessible at <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. American Museum of Natural History, New York, USA.
- Gorman, T. A., Haas, C. A., & Bishop, D. C. (2009). Factors related to occupancy of breeding wetlands by flatwoods salamander larvae. *Wetlands*, 29(1), 323–329. <https://doi.org/10.1672/08-155.1>
- Gould, W. R., Patla, D. A., Daley, R., Corn, P. S., Hossack, B. R., Bennetts, R., & Peterson, C. R. (2012). Estimating occupancy in large landscapes: evaluation of amphibian monitoring in the greater Yellowstone ecosystem. *Wetlands*, 32(2), 379–389. <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0273-0>
- Grant, E. H. C., Green, L. E., & Lowe, W. H. (2009). Salamander occupancy in headwater stream networks. *Freshwater Biology*, 54(6), 1370–1378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02166.x>
- Guthery, F. S., Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2003). Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. *The Journal of Wildlife Management*, 67(3), 655. <https://doi.org/10.2307/3802723>
- Heredia-Bobadilla, R. L., Monroy-Vilchis, O., Zarco-González, M. M., Martínez-Gómez, D., Mendoza-Martínez, G. D., & Sunny, A. (2017). Genetic variability and structure of an isolated population of *Ambystoma altamirani*, a mole salamander that lives in the mountains of one of the largest urban areas in the world. *Journal of Genetics*, 96(6), 873–883. <https://doi.org/10.1007/s12041-017-0823-6>
- Hérrnandez, A., Rafaelli, J., Jelsch, E., Rosas-Espinoza, V. C., Santiago-Perez, A. L., & Nunez, P. B. (2019). On the verge of extinction in Mexico today: Field observations of *Ambystoma ordinarium* and *Ambystoma flavipiperatum* with remarks on their habitat and conservation. *Herpetological Bulletin*, 148, 15–21. <https://doi.org/10.33256/hb148.1521>
- Hernández-Guzmán, R. (2019). Predicting *Ambystoma ordinarium* distribution under different climate scenarios in central Mexico. *Herpetological Journal*, 29(2), 71–81. <https://doi.org/10.33256/hj29.2.7181>
- Hossack, B. R., Muths, E., Rorabaugh, J. C., Lemos-Espinal, J. A., Sigafus, B. H., Chambert, T., Arroyo, G. C., Felix, D. H., Martínez, D. T., & Jones, T. R. (2016). Notes on the distribution of Tiger salamanders (presumed *Ambystoma mavortium stebbinsi*) in Sonora, Mexico. *Herpetological Review*, 47(2), 177–180.

https://www.researchgate.net/publication/304348363_Notes_on_the_Distribution_of_Tiger_Salamanders_Presumed_Ambystoma_mavortium_stebbinsi_in_Sonora_Mexico

IUCN SSC Amphibian Specialist Group (IUCN SSC). (2019, October 22). *Ambystoma Altamirano*. IUCN Red List of Threatened Species. Consultado en Febrero 2021 <https://www.iucnredlist.org/ja/species/59049/53973139>

Joseph, M. B., Preston, D. L., & Johnson, P. T. J. (2015). Integrating occupancy models and structural equation models to understand species occurrence. *Ecology*, 97(3), 765–775. <https://doi.org/10.1890/15-0833>

Krebs, S. L., & Brandon, R. A. (1984). A new species of salamander (family *Ambystomatidae*) from Michoacán, Mexico. *Herpetologica*, 40(3), 238–245. <https://www.jstor.org/stable/3892290?seq=1>

Kroll, A. J., Risenhoover, K., McBride, T., Beach, E., Kernohan, B. J., Light, J., & Bach, J. (2008). Factors influencing stream occupancy and detection probability parameters of stream-associated amphibians in commercial forests of Oregon and Washington, USA. *Forest Ecology and Management*, 255(11), 3726–3735. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.005>

Legorreta-Balbuena, G., G. Gutiérrez-Ospina, I. Villalpando-Fierro, and G. Parra-Olea. 2014. *Ambystoma rivulare*. Reproduction. *Herpetological Review* 45:107-108.

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., & Woolrich-Piña, G. A. (2015). Diet of larval *Ambystoma Altamirani* from Llano de los Axolotes, Mexico. *Current Herpetology*, 34(1), 75–79. <https://doi.org/10.5358/hsj.34.75>

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Ballinger, R. E., & Ramírez-Bautista, A. (1999). Status of protected endemic salamanders (*Ambystoma: Ambystomatidae: Caudata*) in the Transvolcanic Belt of México. *British Herpetological Society Bulletin*, 68, 1–4. <https://www.thebhs.org/publications/the-herpetological-bulletin/issue-number-69-autumn-1999/2712-hb069-01/file>

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Ruíz, N. H., & Montoya-Ayala, R. (2016a). Natural History, Phenology, and Stream Use of *Hyla plicata* from the Arroyo los Axolotes, State of Mexico, Mexico. *Current Herpetology*, 35(1), 8–13. <https://doi.org/10.5358/hsj.35.8>

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Ruíz, N. H., & Montoya-Ayala, R. (2016a). Natural History, Phenology, and Stream Use of *Hyla plicata* from the Arroyo los Axolotes, State of Mexico, Mexico. *Current Herpetology*, 35(1), 8–13. <https://doi.org/10.5358/hsj.35.8>

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Ruíz, N. H., & Montoya-Ayala, R. (2016b). Stream use and population characteristics of the endangered salamander, *Ambystoma altamirani*,

- from the Arroyo Los Axolotes, State of Mexico, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 61(1), 28–32. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-61.1.28>
- Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Woolrich-Piña, G. A., & Montoya-Ayala, R. (2015). Diet of larval *Ambystoma rivulare* (Caudata: Ambystomatidae), a threatened salamander from the Volcán Nevado de Toluca, Mexico. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, 14(1), 33. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v14i1p33-41>
- Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Zamora, A. B. E., Woolrich Piña, G., & Montoya-Ayala, R. (2017). Natural history of the critically endangered salamander *Ambystoma leorae* (Caudata: Ambystomatidae) from the Río Tonatzin, Mexico. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, 16(1), 3–11. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v16i1p3-11>
- Lunghi, E., Manenti, R., & Ficetola, G. F. (2015). Seasonal variation in microhabitat of salamanders: environmental variation or shift of habitat selection? *PeerJ*, 3, e1122. <https://doi.org/10.7717/peerj.1122>
- Mackenzie, D. I. (2005). Was it there? Dealing with imperfect detection for species presence/absence data. *Australian New Zealand Journal of Statistics*, 47(1), 65–74. <https://doi.org/10.1111/j.1467-842x.2005.00372.x>
- MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Hines, J. E., Knutson, M. G., & Franklin, A. B. (2003). Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. *Ecology*, 84(8), 2200–2207. <https://doi.org/10.1890/02-3090>
- Mazerolle, M. J. (2015). Estimating detectability and biological parameters of interest with the use of the r environment. *Journal of Herpetology*, 49(4), 541–559. <https://doi.org/10.1670/14-075>
- Mazerolle, M. J., Bailey, L. L., Kendall, W. L., Andrew Royle, J., Converse, S. J., & Nichols, J. D. (2007). Making great leaps forward: accounting for detectability in herpetological field studies. *Journal of Herpetology*, 41(4), 672–689. <https://doi.org/10.1670/07-061>
- McGhee, J. D. (2016). Occupancy rates and detection probabilities of red-backed salamanders on the Virginia fall line. *Virginia Journal of Science*, 67, 10–18. <https://doi.org/10.25778/BHQ9-3R58>
- Monroy-Vilchis, O., Zarco-Gonzales, M. M., Dominguez-Vega, H., & Garcia-Aguilar, A. S. (2015). *Ambystoma leorae* (Taylor, 1943). New records, natural history notes and threat status. *Herpetozoa*, 27, 166–168. https://www.zobodat.at/pdf/HER_27_3_4_0166-0168.pdf
- Niemiller, M. L., Glorioso, B. M., Nicholas, C., Phillips, J., Rader, J., Reed, E., Sykes, K. L., Todd, J., Wyckoff, G. R., Young, E. L., & Miller, B. T. (2009). Notes on the

- reproduction of the streamside salamander, *Ambystoma barbouri*, from rutherford County, Tennessee. *Southeastern Naturalist*, 8(1), 37–44.
<https://doi.org/10.1656/058.008.0104>
- Osbourn, M. S., Connette, G. M., & Semlitsch, R. D. (2014). Effects of fine-scale forest habitat quality on movement and settling decisions in juvenile pond-breeding salamanders. *Ecological Applications*, 24(7), 1719–1729.
<https://doi.org/10.1890/13-0813.1>
- Parra-Olea, G., Zamudio, K. R., Recuero, E., Aguilar-Miguel, X., Huacuz, D., & Zambrano, L. (2011). Conservation genetics of threatened Mexican axolotls (*Ambystoma*). *Animal Conservation*, 15(1), 61–72. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2011.00488.x>
- Peterman, W. E., Crawford, J. A., & Kuhns, A. R. (2013). Using species distribution and occupancy modeling to guide survey efforts and assess species status. *Journal for Nature Conservation*, 21(2), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.11.005>
- Pollock, K. H. (1982). A capture-recapture design robust to unequal probability of capture. *The Journal of Wildlife Management*, 46(3), 752–757.
<https://doi.org/10.2307/3808568>
- Pollock, K. H., Nichols, J. D., Brownie, C., & Hines, J. E. (1990). Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildlife Monographs*, 107, 3–97.
<https://www.jstor.org/stable/3830560?seq=1>
- PRESENCE. (n.d.). PRESENCE. PRESENCE Software. Consultado en Febrero 2021, from <https://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html>
- Price, S. J., Browne, R. A., & Dorcas, M. E. (2012). Resistance and resilience of a stream salamander to suprasonal drought. *Herpetologica*, 68(3), 312–323.
<https://doi.org/10.1655/herpetologica-d-11-00084.1>
- Pyke, C. R., & Marty, J. (2005). Cattle grazing mediates climate change impacts on ephemeral wetlands. *Conservation Biology*, 19(5), 1619–1625.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00233.x>
- Scheffers, B. R., Furman, B. L. S., & Evans, J. P. (2013). Salamanders continue to breed in ephemeral ponds following the removal of surrounding terrestrial habitat. *Herpetological Conservation and Biology*, 8(3), 715–723.
https://www.researchgate.net/publication/265595649_Salamanders_continue_to_breed_in_ephemeral_ponds_following_the_removal_of_surrounding_terrestrial_habitat
- Shaw, G., Nodder, F. P., & Nodder, R. P. (2016). The naturalists' miscellany, or, Coloured figures of natural objects; drawn and described immediately from nature. *Hansebooks*.

Smith, H. M., & Smith, R. B. (1971). Synopsis of the Herpetofauna of Mexico. Volume I: Analysis of the literature of the Mexican Axolotl. North Bennington. John Johnson. *Natural History Books*.

Storfer, A., Mech, S. G., Reudink, M. W., & Lew, K. (2013). Inbreeding and strong population subdivision in an endangered salamander. *Conservation Genetics*, 15(1), 137–151. <https://doi.org/10.1007/s10592-013-0526-3>

Sunny, A., Monroy-Vilchis, O., Fajardo, V., & Aguilera-Reyes, U. (2013). Genetic diversity and structure of an endemic and critically endangered stream river salamander (Caudata: *Ambystoma leorae*) in Mexico. *Conservation Genetics*, 15(1), 49–59. <https://doi.org/10.1007/s10592-013-0520-9>

Sunny, A., Monroy-Vilchis, O., Reyna-Valencia, C., & Zarco-González, M. M. (2014). Microhabitat types promote the genetic structure of a micro-endemic and critically endangered mole salamander (*Ambystoma leorae*) of Central Mexico. PLoS ONE, 9(7), e103595. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103595>

Taylor, E. H. (1940a). A New *Rhyacosiredon* (Caudata) from Western Mexico. *Herpetologica*, 1(7), 171–176. <https://www.jstor.org/stable/3890347?seq=1>

Taylor, E. H. (1940b). New salamanders from Mexico, with a discussion of certain known forms. *The University of Kansas Science Bulletin.*, 26, 407–439. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/38658>

Taylor, E. H. (1941). Two new *ambystomid* salamanders from Chihuahua. *Copeia*, 1941(3), 143–146. <https://www.jstor.org/stable/1437737?seq=1>

Taylor, E. H. (1943). Herpetological novelties from Mexico. *University of Kansas Science Bulletin*, 29, 343–358. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/37138>

Taylor, E. H. (1944). A new *Ambystomatid* salamander from the Plateau Region of Mexico. *The University of Kansas Science Bulletin.*, 30, 57–61. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/6502>

Villanueva-Camacho, Z., Smith, G. R., Montoya-Ayala, R., & Lemos-Espinal, J. A. (2020). Distribution and Population Structure of *Ambystoma altamirani* from the Llano de Lobos, State of México, Mexico. *Western North American Naturalist*, 80(2), 228–235. <https://doi.org/10.3398/064.080.0210>

Villareal-Hernández, V. (2019). . Probabilidad de detección y porcentaje de ocupación en una población del Ajolote Arroyero de Montaña (*Ambystoma altamirani*), que habita la Sierra de las Cruces, México. (Tesis). UNAM. https://repositorio.unam.mx/contenidos/probabilidad-de-deteccion-y-porcentaje-de-ocupacion-en-una-poblacion-del-ajolote-arroyero-de-montana-ambystoma-altam-3430598?c=3AxbA7&d=false&q=:*&i=4&v=1&t=search_1&as=0

- Villareal-Hernández, V., Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., & Montoya-Ayala, R. (2020). Natural history observations of *Ambystoma altamirani* and *Dryophytes plicatus* at Sierra de las Cruces, State of Mexico, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 64(2), 135–137. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-64-2-135>
- Villareal-Hernández, V., Smith, G. R., Montoya-Ayala, R., & Lemos-Espinal, J. A. (2020). The relationship between body and substrate color for *Ambystoma altamirani* (Caudata: Ambystomatidae) from the Arroyo los Axolotes, Mexico. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, 19(2), 243–251. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v19i2p243-251>
- Villareal-Hernández, V., Smith, G. R., Montoya-Ayala, R., & Lemos-Espinal, J. A. (2020). Abundance, distribution, population structure, and substrate use of *Ambystoma altamirani* along the Arroyo los Axolotes, State of México, Mexico. *Herpetological Conservation and Biology*, 15(1), 188–197. <https://digitalcommons.denison.edu/facultypubs/541/>
- Waldick, R.C., B. Freedman, and R.J. Wassersug. 1999. The consequences for amphibians of the conversion of natural, mixed-species forests to conifer plantations in southern New Brunswick. *Canadian Field-Naturalist* 113: 408-418.
- Webb, R. G. 2004. Observations on tiger salamanders (*Ambystoma tigrinum* complex, family Ambystomatidae) in Mexico with description of a new species. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 40: 122–143.
- Woolrich-Piña, G. A., Smith, G. R., Lemos-Espinal, J. A., & Matínez-Olguin, R. G. (2017). Resource use by adults of four species of anurans along the Río Salado, Puebla, Mexico. *Herpetological Conservation and Biology*. *Herpetological Conservation and Biology*, 12(1), 182–191. https://www.researchgate.net/publication/316677533_Resource_Use_by_Adults_of_Four_Species_of_Anurans_Alone_the_Rio_Salado_Puebla_Mexico