



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

**Comparación ecológica del ajolote *Ambystoma velasci*
(Caudata: Ambystomatidae) en dos ambientes contrastantes
del Estado de Hidalgo, México.**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A:

EMILIANO HERNÁNDEZ JIMÉNEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. AURELIO RAMÍREZ BAUTISTA



Mineral de la Reforma, Hgo., a 9 de abril de 2024

Número de control: ICBI-D/198/2024
 Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado al Pasante de la Licenciatura en Biología **Emiliano Hernández Jiménez**, quien presenta el trabajo de titulación **“Comparación ecológica del ajolote *Ambystoma velasci* (Caudata: Ambystomatidae) en dos ambientes contrastantes del Estado de Hidalgo, México”**, después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Pablo Octavio Aguilar

Secretario: Dra. Ana Paola Martínez Falcón

Vocal: Dr. Aurelio Ramírez Bautista

Suplente: Dr. Christian Said Berriozábal Islas

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

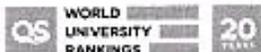
Atentamente
 “Amor, Orden y Progreso”

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval
 Director del ICBI



OAAS/YCC

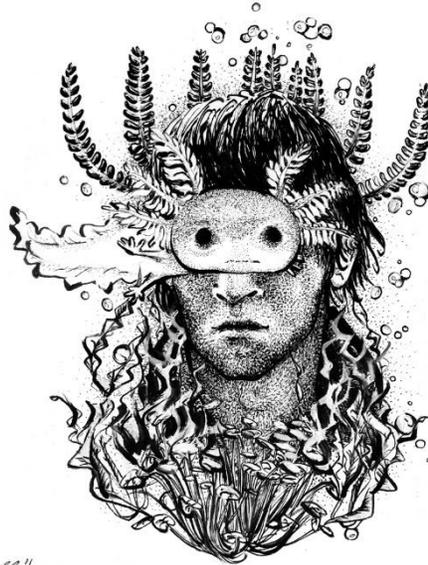
Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 2231 Fax 2109
 direccion_icbi@uaeh.edu.mx



Dedicatoria

*A la memoria de mis abuelos
Mario, Joel y Josefina, aunque
ya no se encuentren físicamente
conmigo, su amor y sabiduría
continúa guiándome en cada
paso de este camino...*

*A mi novia y mejor amiga **Guadalupe**, con
quien espero recorrer grandes distancias...
gracias por tu amor y apoyo incondicional.*



*"Axólotl"
Julio Cortázar*

GP

*"Fue su quietud lo que me hizo inclinarme fascinado la primera vez que vi a los axólotl.
Oscuramente me pareció comprender su voluntad secreta, abolir el espacio y el tiempo con
una inmovilidad indiferente."*

-Fragmento del cuento Axólotl de Julio Cortázar

Agradecimientos

A mis padres, Hugo y Ariadna, y mi hermano Dante, quienes me han inculcado valores de responsabilidad, confiado en mí y brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, incluso involucrándose en el proyecto acompañándome en los muestreos. Al resto de mi familia que por razones de espacio no les pude mencionar individualmente, gracias por todo.

Expreso mi sincero agradecimiento al Dr. Aurelio Ramírez Bautista, mi director de tesis, por brindarme la oportunidad de ser su alumno y depositar su confianza en mí. Aprecio su guía en el desarrollo de mi idea, así como su constante respaldo logístico, moral y académico durante todo el proceso de la tesis. Le estoy agradecido por contribuir significativamente a mi formación como biólogo, orientándome y motivándome para alcanzar mis metas, lo considero un gran amigo y un modelo a seguir como científico.

Agradezco al Comité tutorial, integrado por el Dr. Pablo Octavio Aguilar, la Dra. Ana Paola Martínez Falcón y el Dr. Christian Berriozabal Islas, cuyos conocimientos y comentarios fortalecieron significativamente este escrito.

Al M. en C. Israel Moreno Lara por su apoyo y orientación a lo largo de todo el proceso en la elaboración de la tesis.

También agradezco al M. en C. César A. Díaz Marín por su valioso apoyo en el campo y por su gran apoyo en los análisis estadísticos de la morfometría de los ajolotes.

A la Biól. Tonantzin Carmona Zamora por enseñarme en campo la técnica de lavado estomacal y como analizar las muestras.

A mi buen amigo y compañero de laboratorio Alan Isaac Olvera Mendoza por apoyarme en campo, soportando lluvia y cansancio, encontrando ajolotes cuando estábamos por abandonar el proyecto debido a lo complicado que fue encontrar las poblaciones del PNCH.

A mis compañeros del grupo 01 de Biología de la generación 2019-2023 y de laboratorio, quienes hicieron grata mi trayectoria en la universidad a lo largo de estos cuatro años y medio.

A mis queridos amigos David Campos, Yamilet Cid, Jazmín Acosta, Brissa Elena Marín, Joel Hernández y Jaqueline Anaya por su compañía y amistad.

Quiero agradecer al Prof. Mario Alberto Ávila Mendoza, ya que aunque no estuvo presente durante la carrera, sus clases fueron el detonante de mi interés por la ciencia al mostrarme lo interesante que podía ser la biología.

CONTENIDO

1. Resumen	6
2. Introducción	7
3. Antecedentes de la investigación	9
4. Justificación	12
5. Hipótesis	12
6. Objetivo general	13
6.1. Objetivos particulares.....	13
7. Materiales y métodos	14
7.1. Área de estudio.....	14
7.2. Métodos de investigación en campo y laboratorio.....	18
7.2.1. Trabajo de campo.....	18
7.2.2. Recaptura.....	20
7.2.3. Periodos de actividad y microhábitat.....	20
7.2.4. Morfometría.....	20
7.2.5. Análisis de datos morfométricos.....	21
7.2.6. Análisis de dieta.....	22
7.2.7. Análisis de datos de dieta.....	22
7.2.8. Parámetros y variables ambientales.....	24
7.2.9. Análisis de datos de las variables ambientales.....	24
9. Discusión	32
10. Conclusiones	40
11. Literatura citada	42

1. RESUMEN

Durante las últimas décadas, las poblaciones de los anfibios a nivel mundial se encuentran en declive debido a diversos factores que tienen que ver con las actividades humanas, que promueven el cambio de uso de suelo, la introducción de especies exóticas, la extracción ilegal, contaminación de cuerpos de agua, entre otros. Entre los grupos de anfibios mayormente amenazados se encuentran las poblaciones de especies de la familia Ambystomatidae, por lo tanto, es urgente conocer el estado actual de sus poblaciones y su ambiente con el fin de establecer estrategias de conservación. En el presente estudio se evaluaron aspectos ambientales, morfométricos y tróficos de la especie *Ambystoma velasci* (Dúges, 1888) en dos ambientes contrastantes del estado de Hidalgo, México, uno conservado y otro perturbado. Se midieron once variables morfométricas y se revisó la dieta de dichas poblaciones mediante lavado estomacal. Por último, se midieron distintos parámetros ambientales y químicos del agua en cada población. La talla de los ajolotes difiere significativamente entre ambientes, siendo mayor en el perturbado. En general, la dieta de la especie en ambos sitios se basa de doce órdenes de presas. Sin embargo, solo tres órdenes (Podocopida, Odonata y Díptera) fueron compartidos. Respecto a la calidad del agua, las concentraciones de compuestos nitrogenados, temperatura y pH entre ambientes no difiere significativamente. Los resultados sugieren que *A. velasci* es capaz de adaptarse en ambientes con cierto grado de perturbación, aunque es posible que la diferencia observada en la disponibilidad de presas implique variación en la morfología de los ajolotes. La permanencia del cuerpo de agua en el ambiente antropizado podría suponer una ventaja frente a las poblaciones del ambiente conservado, ofreciendo un ambiente idóneo para la reproducción de los ajolotes y sus presas.

Palabras clave: *Ambystoma*, ecología trófica, talla, parámetros ecológicos.

2. INTRODUCCIÓN

México posee una alta riqueza de especies, por lo que es considerado como un país megadiverso (Halffter, 2017), en particular para anfibios y reptiles, diversidad producida por la variación en las regiones fisiográficas y tipos de vegetación que presenta el país (Morrone, 2019). La riqueza de anfibios y reptiles actual es de 1405 especies, 430 de anfibios y 975 de reptiles, de las cuales 16 son exóticas y 886 son endémicas al país (Ramírez-Bautista *et al.*, 2023). Los anfibios se clasifican en tres órdenes: los cecílicos, con el menor porcentaje de familias en el país (6.25%), los caudados con el 25% y los anuros, con el 68.75%. En cuanto a la diversidad del orden Caudata, México ocupa el segundo lugar a nivel mundial en riqueza, con un total de 157 especies, después de los Estados Unidos que presenta 189 especies (Parra-Olea *et al.*, 2014; Ramírez-Bautista *et al.*, 2023).

Sin embargo, actualmente, los anfibios están pasando por la peor crisis de extinción de toda su historia debido a que sus requerimientos reproductivos, biológicos y ecológicos ya que dependen del agua y de ciertas propiedades del hábitat (Wyman, 1990). Por ejemplo, en México, 164 especies de anfibios están amenazadas o en peligro crítico de extinción, lo cual equivale al 43% de la diversidad total (Parra-Olea *et al.*, 2014). Dentro de los caudados, las salamandras del género *Ambystoma* son de los grupos más amenazados por la disminución de la cobertura vegetal y de los cuerpos de agua, que son de vital para su reproducción (Ramírez-Bautista *et al.*, 2014). En el país se distribuyen 17 especies del género, de las cuales 16 son endémicas.

El género *Ambystoma* presenta ciertas características específicas que las diferencian de otros caudados; presentan hábitos terrestres, pero regresan al agua para reproducirse; son ovíparos, ponen sus huevos en cuerpos de agua temporales o permanentes; presentan desarrollo larvario, algunas especies son neoténicas (conservan caracteres larvarios en estadio adulto) mientras que otras presentan metamorfosis y se tornan terrestres (Duellman y Trueb, 1986; Vitt y Caldwell, 2014; Cordero-Lezama *et al.*, 2021).

La mayoría de las especies del género *Ambystoma* habitan en bosques templados en el centro del país, particularmente, en la Faja Volcánica Transmexicana, donde se distribuyen

15 de las 17 especies, sin embargo es una de las regiones mayormente afectadas por el crecimiento de la mancha urbana (García-Benítez *et al.*, 2019). Por ejemplo, en México perdió 91 mil 600 hectáreas de cobertura de bosques durante el periodo 2010-2015 (FAO, 2015). Esta pérdida es ocasionada por diversos factores, principalmente de origen antropogénicos, como la tala clandestina o extracción de madera y, la apertura de nuevos espacios para el establecimiento de cultivos, ganadería y áreas urbanas (Goudie, 2013; Camacho-Sanabria *et al.*, 2015; Parente *et al.*, 2019).

Los ecosistemas acuáticos en los que habitan las especies del género *Ambystoma* se caracterizan por su alta vulnerabilidad y su alta probabilidad disminuir su funcionalidad. Este fenómeno se atribuye al deterioro de la calidad del agua, derivado de actividades antropogénicas como la acuicultura y la industria ganadera, prácticas que desencadenan procesos de eutrofización a través de la descomposición de elementos nitrogenados y materia orgánica, asimismo, la industria minera vierte grandes cantidades de metales pesados en los cuerpos de agua, contaminando e incrementando aún más la amenaza para estos hábitats (Marco, 2002; Zocche *et al.*, 2014). Aunado a esto, las poblaciones pueden enfrentar problemas de erosión de la diversidad genética, lo que trae como consecuencia una fuerte endogamia y cuellos de botella después de los eventos catastróficos asociados con la modificación de su hábitat, lo que disminuye la adecuación de las poblaciones (Alvarado-Gómez, 2016; Aguilera-Hernández, 2017). Otro factor que promueve la disminución de poblaciones, es la introducción de especies exóticas, ya que propagan patógenos de naturaleza fúngica y bacteriana. Entre las enfermedades emergentes de mayor preocupación esta la quitridiomycosis, debido a que es altamente contagiosa y mortal, provocada por los hongos parásitos *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) y *B. salamandrivorans* (Bsal) (Sunny *et al.* 2014; Heredia-Bobadilla *et al.* 2017; Bravo y Moreno, 2020).

Dada la singularidad de la especie *A. velasci*, única representante del género *Ambystoma* en el estado de Hidalgo, resulta imperativo indagar en el estado actual de conservación de sus poblaciones, así como profundizar en el estudio de su entorno. Obtener conocimientos básicos para el entendimiento de la historia natural del ajolote y la evaluación del estado de conservación de su hábitat en base a la comparación de dos ambientes distintos

en el que habita, puede ser de utilidad para la formulación de estrategias de conservación efectivas que resguarden la biodiversidad a largo plazo.

3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La familia Ambystomatidae constituye un clado compuesto por 32 especies repartidas en dos géneros, *Ambystoma* y *Dicamptodon* (Frost, 2023) que se extienden desde América del Norte hasta el sur del Altiplano Mexicano, de estas, 17 especies se distribuyen en México, y son endémicas a este país, a excepción de una de ellas que es, *Ambystoma mavortium*. Estas especies son particularmente de hábitos terrestres, no obstante, algunas especies del género *Ambystoma* (*A. mexicanum*, *A. andersoni* y *A. dumerilii*) son neoténicas, es decir, alcanzan la madurez sexual en estadios larvarios, sus branquias externas y permaneciendo en forma de "ajolote" siempre que la calidad y cantidad de agua sean óptimas para sus necesidades. La mayoría de las especies de esta familia pasan la mayor parte del año bajo tierra, residiendo en madrigueras, y emergen durante la temporada de lluvias para reproducirse y alimentarse (Lemos-Espinal y Smith, 2009).

Taxonomía, biología y antecedentes de *Ambystoma velasci*

La taxonomía de *A. velasci* ha cambiado a lo largo del tiempo, en 1879, José María Velasco presentó ante la Sociedad Mexicana de Historia Natural su estudio “Descripción, metamorfosis y costumbres de una nueva especie de *Siredon*” dando a conocer la nueva especie, que nombró *Siredon tigrina*. Sin embargo, con frecuencia a las especies se les cambia de nombre por diferentes razones taxonómicas. Alfredo Dugés, quien también formaba parte de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, en 1888 consideró que la especie descubierta por Velasco debía colocarse en el género *Ambystoma*, pero como ya había una especie con el nombre de *A. tigrinum*, la denominó *Ambystoma velasci* en honor a las importantes aportaciones realizadas por Velasco (Altamirano-Piollé, 1997).

El ajolote del altiplano, *Ambystoma velasci* (Dugés, 1888) es una especie de salamandra que se distribuye ampliamente desde el norte al centro de México, en los estados de Chihuahua, Nuevo León, Colima, Querétaro, San Luis Potosí, Hidalgo, Morelos, Puebla, Estado de México y Tlaxcala (Smith y Taylor, 1966; Ramírez-Bautista et al., 2014). En

Hidalgo, la especie se distribuye en bosque de pino, pino-encino y en matorral xerófilo, comúnmente cerca de cuerpos de agua permanentes o estacionales en los municipios de Acaxochitlán, Mineral del Chico, Cuautepec de Hinojosa y Tepeapulco (Ramírez-Bautista *et al.*, 2014).

Ambystoma velasci (Fig.1), es una especie de talla mediana, con una longitud hocico-cloaca (LHC) promedio de 105.1 mm, y longitud de la cola (LC) de 99.7 mm (Ramírez-Bautista *et al.*, 2014). Se sabe que se alimenta de insectos, pero también que la especie practica el canibalismo (Vite-Silva *et al.*, 2009; Cruz-Hernández, 2013). Su reproducción ocurre durante las primeras lluvias del año, primavera y verano, el tamaño de sus nidadas es menor a 100 huevos por hembra, los cuales coloca adheridos en la maleza a la orilla de los cuerpos de agua (Ramírez-Bautista *et al.*, 2010).



Figura 1. Ejemplar (larva) de *Ambystoma velasci* en la zona conocida como Cantarranas en el ejido de Tilhuacán, Singuilucan, Hidalgo, México. Fotografía por César Adrián Díaz Marín.

A pesar de ser una especie endémica tiene la distribución más amplia en el país, Aunque existe poca información sobre la historia natural, por ejemplo, no se sabe con exactitud sobre el periodo de actividad, sus refugios, variación en el tamaño de la puesta, tiempo de desarrollo embrionario, entre otros aspectos (Cordero-Lezama *et al.*, 2021).

Rodríguez-Amador *et. al* (2013) realizaron un estudio helmintológico en *A. velasci*, donde registraron dos especies de helmintos parásitos: un digéneo y un nemátodo; mientras que Cruz-Hernández (2013), determinó que *A. velasci* es un organismo carnívoro cuya dieta está constituida por presas pertenecientes a tres Phyla diferentes: Mollusca, Arthropoda y Chordata, siendo el Phylum Arthropoda más abundante en su dieta, además, en este estudio se encontró que tiene una tendencia de consumo hacia la familia Corixidae, por tanto, podría considerarse que *A. velasci* es una especie con hábitos alimentarios especialista.

Por otro lado, Morales-García *et. al* (2021), registraron por primera vez la presencia de tres individuos de *A. velasci* en ambientes antropizados con cultivos agrícolas en los alrededores de la ciudad de Pachuca, en un espacio limítrofe colindante con el municipio de Zempoala en el estado de Hidalgo, México. Además, los autores encontraron que las pozas naturales que se utilizan como bebederos para ganado fungen como sitios de refugio para *A. velasci*, por lo tanto, recomiendan llevar a cabo monitoreos de sus poblaciones y valorar su estado de riesgo. Por otra parte, Palacios-Martínez *et al.* (2020), estudiaron el perfil transcriptómico durante el proceso de metamorfosis de *A. velasci*. Este trabajo es el primero que describe el paisaje transcripcional de los órganos circulatorios y respiratorios en una especie metamórfica facultativa como lo es la especie presente.

Actualmente, *Ambystoma velasci* se encuentra listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, bajo la categoría Sujeta a Protección Especial (Pr) (DOF, 2010); mientras que, de acuerdo con la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, la especie está en la categoría de Preocupación menor (LC) (UICN, 2021).

4. JUSTIFICACIÓN

Con base en la escasa información que se tiene sobre la historia natural, biología y ecología de *Ambystoma velasci*, este estudio se enfoca al conocimiento de la actividad, dieta, morfología, tamaño de la población, proporción de sexos de la especie en dos ambientes contrastantes: uno conservado (Parque Nacional el Chico (PNCH)) y otro perturbado (Singuilucan). Esta propuesta toma relevancia debido a que hoy día se sabe que las poblaciones de los anfibios se encuentran en declive, principalmente por el efecto antrópico, que ocasiona cambios en el uso de suelo debido a la fragmentación del hábitat (pérdida de cobertura vegetal, desarrollo ecoturístico, vías de comunicación, entre otros), colectas y saqueos ilegales de los organismos de su medio natural, la contaminación de los cuerpos de agua por los fertilizantes y la introducción de especies exóticas que se vuelven invasoras, todo esto favorece la fuerte acción negativa del cambio climático global.

5. HIPÓTESIS

La transformación de los bosques en áreas destinadas a la actividad agrícola y ganadera conlleva alteraciones en la composición y funcionalidad de los ecosistemas, generando modificaciones en la morfología y dieta del ajolote *Ambystoma velasci*. Como consecuencia, se espera que los parámetros ecológicos del entorno varíen entre los hábitats transformados y los no alterados. Se hipotetiza que los ajolotes residentes del Parque Nacional El Chico exhibirán un mayor peso y condición corporal, tendrán una dieta más diversa y se beneficiarán de una mayor disponibilidad de presas. Además, se anticipa que el Parque Nacional El Chico proporcionará condiciones más propicias para la supervivencia de los ajolotes en comparación con el entorno del jagüey de Singuilucan.

6. OBJETIVO GENERAL

Obtener datos sobre la historia natural (dieta, periodo de actividad, condición corporal, proporción de sexos de los adultos) y los parámetros ecológicos de la especie *A. velasci* en dos ambientes contrastantes, uno conservado (Parque Nacional el Chico) y otro perturbado (Municipio de Singuilucan). Con el propósito de comparar los datos obtenidos en ambos ambientes y comprender como las actividades humanas impactan a las poblaciones y el hábitat del ajolote.

6.1. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Identificar los parámetros ecológicos de la especie, como los tipos de refugios y el lugar donde lleva a cabo sus actividades (ya sea en la orilla de los cuerpos de agua, en el centro, o fuera del agua) con el propósito de obtener información fundamental sobre los hábitos de esta especie y analizar las diferencias de comportamiento de los ajolotes en los dos ambientes contrastantes.
2. Identificar los parámetros ambientales, tales como la temperatura del medio, temperatura de los cuerpos de agua, pH, concentración de nitritos, nitratos y amoniac, así como la profundidad y el tamaño de los cuerpos de agua,) en la que viven o se encuentren en actividad los individuos de la especie, con el objetivo de analizar las variaciones entre los entornos perturbado y conservado.
3. Determinar los parámetros de la historia natural de la especie, incluyendo la ecología trófica, la longitud hocico-cloaca (LHC) y las medidas morfométricas de hembras y machos adultos, así como de individuos juveniles, junto con la proporción de sexos en ambos ambientes. Se resaltarán las diferencias y similitudes observadas entre El Parque Nacional el Chico (ambiente conservado) y Singuilucan (ambiente perturbado).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. ÁREA DE ESTUDIO

Esta investigación se realizó en ambientes distintos separados por 40 km, tres sitios dentro del Parque Nacional el Chico (20°11'50''N 98°42'55'' W) y en el ejido de Tilhuacán del municipio de Singuilucan (19°52'12'' N 98°23'44''W), ambos sitios ubicados en el Estado de Hidalgo, México (Fig. 2 y 2.1).

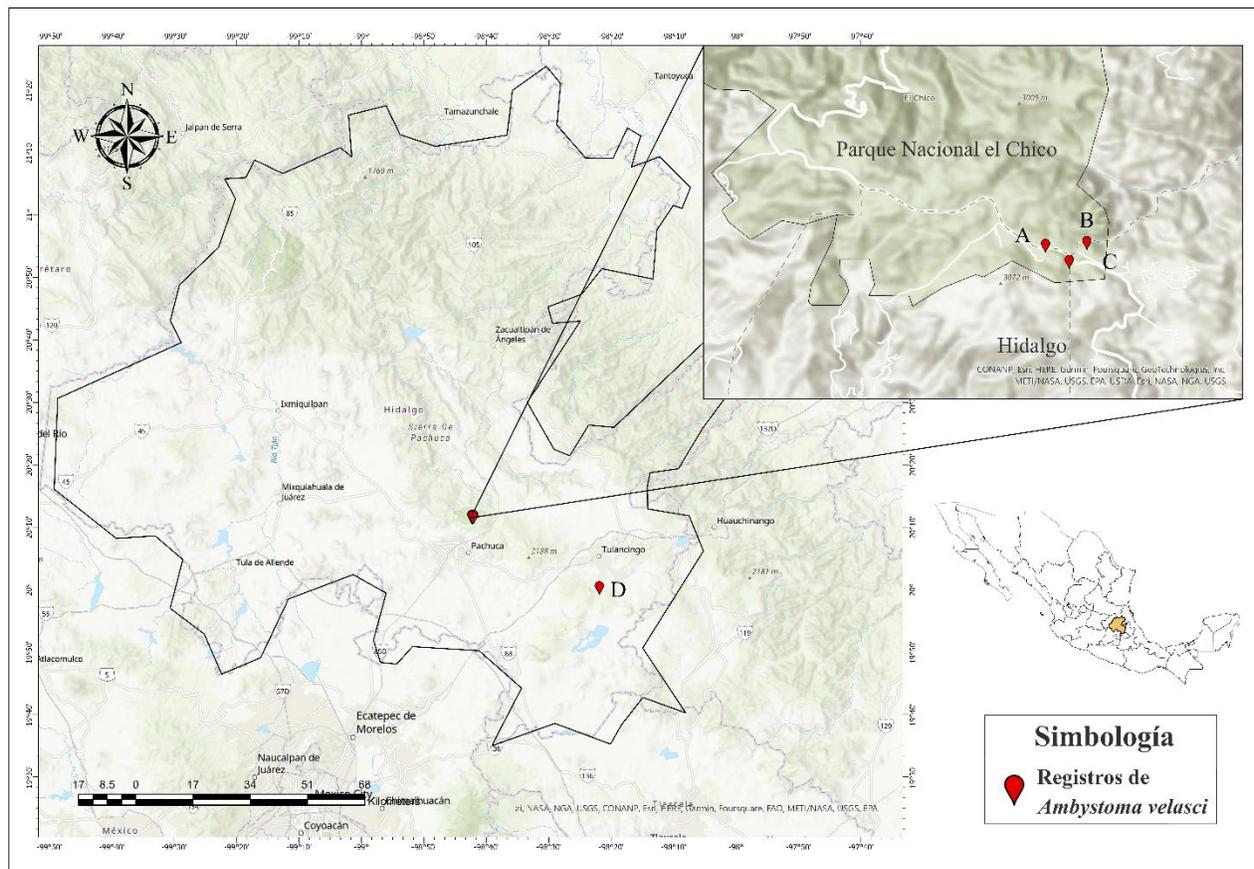


Figura 2. En rojo se muestran los sitios donde se realizó el muestreo de *A. velasci* en base a los registros anteriores de la especie, donde: **A**=Valle de los enamorados, **B**=El Oyamel y **C**=San Cayetano corresponden al ambiente conservado dentro del polígono del Parque Nacional el Chico, y **D**=Cantarranas al ambiente perturbado en la zona limítrofe del

municipio de Singuilucan, en el estado de Hidalgo, México. Mapa creado en ArcGIS Pro 3.2. (ESRI, 2021).

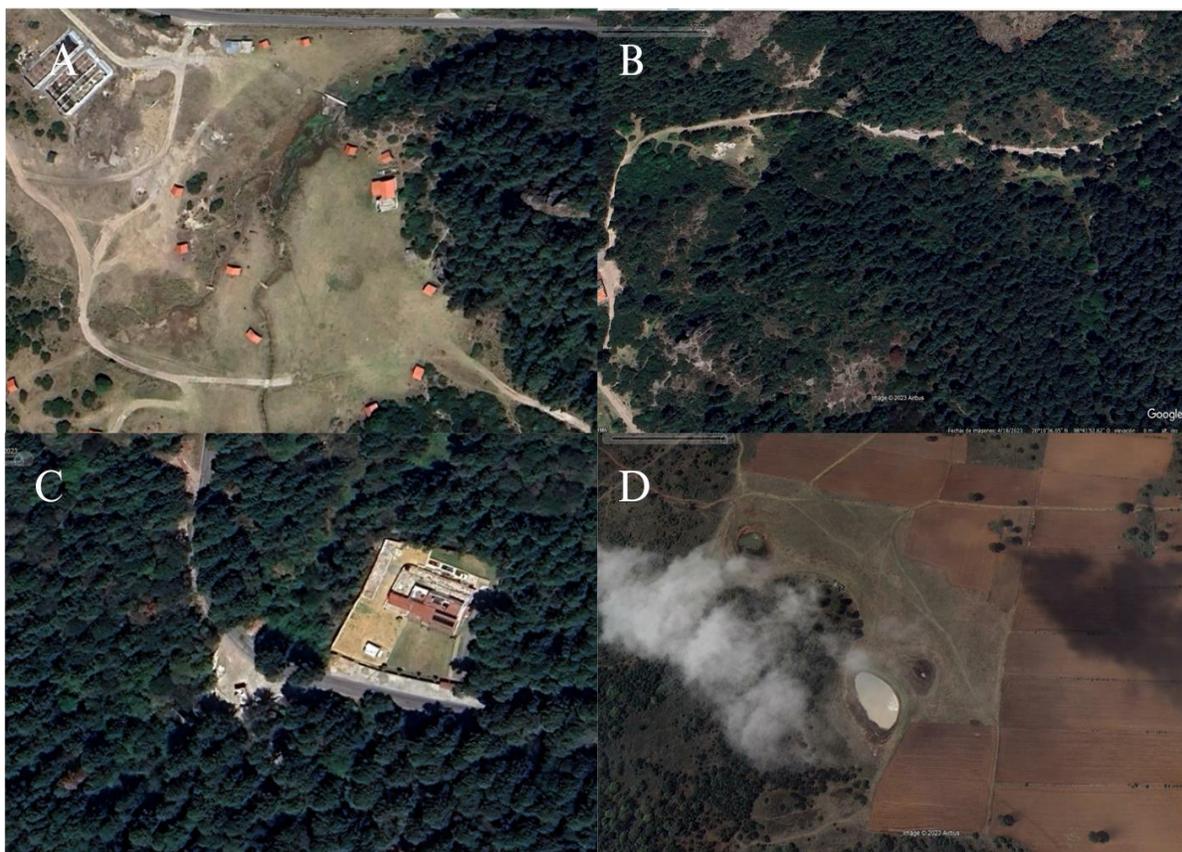


Figura 2.1. Imágenes satelitales de los sitios de muestreo en los dos ambientes: Ambiente conservado en el Parque Nacional el Chico (A- C) donde: A=Valle de los enamorados, B=El Oyamel y C=San Cayetano. Para el ambiente perturbado se muestreó únicamente en un sitio, un jagüey (D) utilizado para animales de granja en el Ejido de Tilhuacán en la zona conocida como Cantarranas, municipio de Singuilucan. Imágenes obtenidas en Google Earth Pro 2023.

Para el sitio conservado, con base en la revisión de literatura relacionada a la presencia de *A. velasci* (Ramírez-Bautista *et al*, 2010), se seleccionaron tres sitios de muestreo distribuidos dentro y en la zona limítrofe del PNCH; el fraccionamiento San Cayetano donde se encuentra una presa artificial, el Oyamel y el Valle de los Enamorados, siendo estos últimos dos, sitios de desarrollo ecoturístico con cuerpos de agua (riachuelos) que se llenan únicamente en época de lluvias (Ver figura 3A-C). El Parque Nacional El Chico

(PNCH) es un área natural protegida que se localiza entre las coordenadas extremas de los 20°10'10" a 20°13'25" latitud Norte y los 98°41'50" a 98°46'02" de longitud Oeste, ubicándose en la región centro Sur-Oriente de la República Mexicana, que corresponde al extremo occidental del sistema orográfico Sierra de Pachuca, incluido en la porción austral de la Faja Volcánica Transmexicana (CONANP, 2005). El parque presenta un rango altitudinal complejo con pendientes abruptas y escarpadas, franjas de escaso relieve y valles de extensión considerable, con una altitud que va desde los 2,350 hasta los 3,090 m.s.n.m., abarca una superficie de 2,739 ha, la mayor parte del territorio pertenece al municipio de Mineral del Chico, el resto pertenece al municipio de Pachuca de Soto y una porción muy pequeña corresponde al municipio de Mineral del Monte (Villavicencio *et al.*, 1992; Hernández-Flores y Rojas-Martínez, 2010). El clima es tipo C(m) (w) b (i) gw" que corresponde a un templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual oscila entre 12 °C y 18 °C, con mínimas de hasta -9 °C (García, 1981; Galindo *et al.* 1988). La precipitación media anual es de 1,567.9 mm. (Gallina *et al.* 1974). La vegetación predominante es de bosque de oyamel (*Abies religiosa*), bosque de pino-encino (*Pinus-Quercus*), bosque de oyamel-encino (*Abies-Quercus*), coexistiendo con zonas de menor importancia donde predomina el bosque de tlaxcal o táscate (*Juniperus*), bosque de cedro (*Cupressus*) y pastizal, la flora está constituida por 545 especies, 264 géneros y 73 familias, de las cuales cuatro especies se encuentran sujetas a protección especial, una especie amenazada y otra en peligro de extinción (COEDE, 2007).

Mientras que, el sitio de estudio considerado como perturbado, fue un jagüey en una zona conocida como Cantarranas (Figura 3D), el cual se encuentra en la zona limítrofe entre el municipio de Singuilucan y Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, donde aunque no existe reporte de la especie en la literatura, se ha informado por los pobladores de la presencia del ajolote. Ubicándose geográficamente en la Faja Volcánica Transmexicana, al Norte 20° 06'00", al Sur 19°51'00" de latitud Norte; al Este 98°21' y 98°37' de longitud Oeste, colindando al norte con los municipios de Omitlán de Juárez, Huasca de Ocampo, Acatlán, Tulancingo de Bravo y Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero; al este con los municipios de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Cuauhtepic de Hinojosa y Tepeapulco; al sur con los municipios de Tepeapulco, Tlanalapa y Zempoala; al oeste con los municipios de Zempoala

y Epazoyucan (INEGI, 2002). El municipio de Singuilucan posee una superficie de 33, 412 ha que representa el 2.00% de la superficie del estado y presenta un rango altitudinal que va de los 2, 640 hasta los 3, 210 m.s.n.m. Presenta un clima tipo C (w1) que corresponde a un templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 752.3 mm. y una temperatura media anual de 15.2 °C (INEGI 1992; INEGI 2002). La mayor parte del paisaje se encuentra altamente fragmentado ya que es destinado principalmente a la agricultura (52.33 % de la superficie). La vegetación predominante se compone de bosque de pino y táscate (44.18% de la superficie), matorral (1.60%) y pastizal (1.16%) (INEGI, 2002).

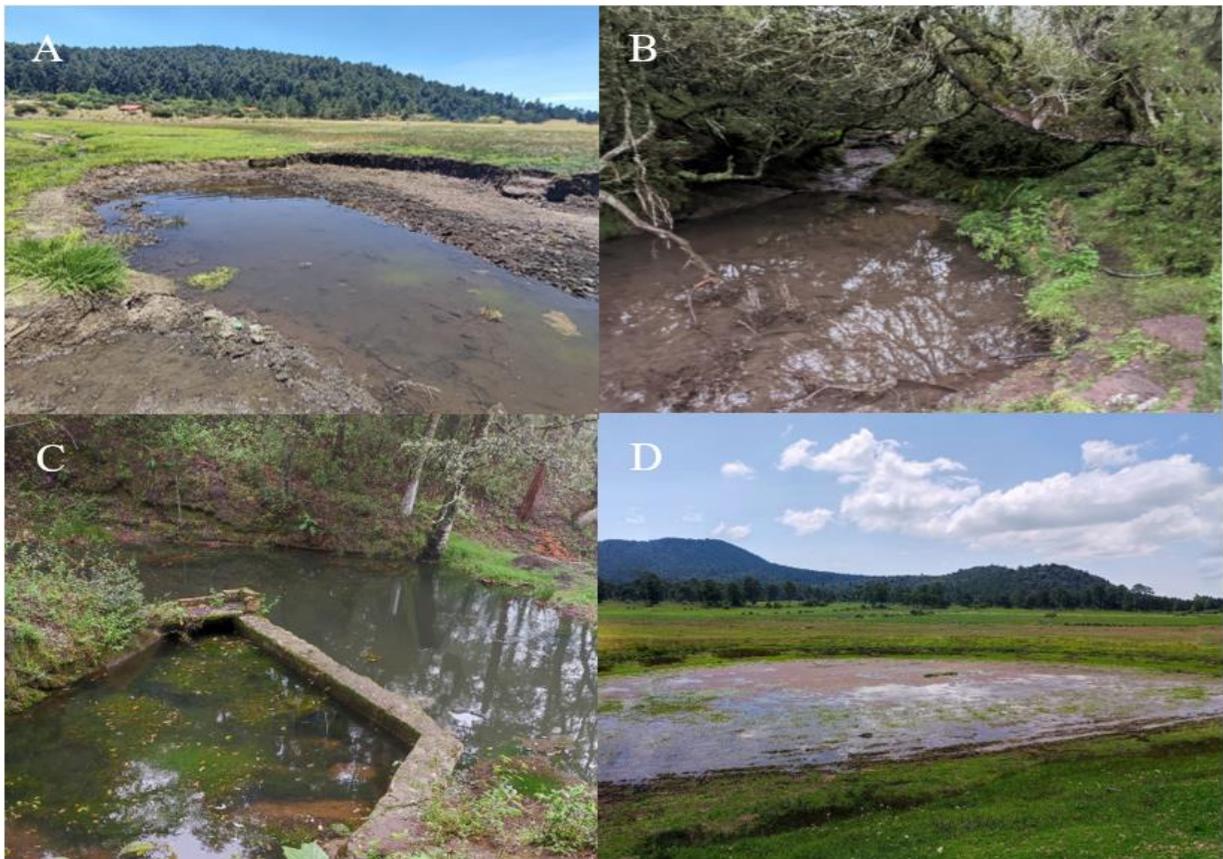


Figura 3. Fotografías de los sitios de muestreo en los dos ambientes: Ambiente conservado en el Parque Nacional el Chico (A- C); A corresponde a un riachuelo dentro de la zona ecoturística “Valle de los enamorados”, el sitio B es un riachuelo que se encuentra dentro del desarrollo ecoturístico “El Oyamel” y C es una acumulación de agua que se forma gracias a una presa artificial durante la época de lluvias en la entrada del fraccionamiento San Cayetano en la zona limítrofe del PNCH. Para el ambiente perturbado se utilizó un único

sitio; **D** un jagüey utilizado para animales de granja en el Ejido de Tilhuacán en la zona conocida como Cantarranas, municipio de Singuilucan.

7.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN EN CAMPO Y LABORATORIO

7.2.1. TRABAJO DE CAMPO

Los muestreos en el sitio conservado, se realizaron en los puntos localizados dentro del polígono del Parque Nacional el Chico, donde se sabe, se pueden encontrar poblaciones de *A. velasci*: Centro de visitantes, La Estanzuela, Valle de los Enamorados y el Oyamel, así como en la entrada del fraccionamiento San Cayetano en la zona limítrofe del parque, donde durante las salidas se informó de la presencia de *A. velasci*. Mientras que para el sitio perturbado, los muestreos se hicieron en la zona conocida como cantarranas, en la zona limítrofe del municipio de Singuilucan, Ejido de Tilhuacán colindante con el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. El muestreo se realizó con la técnica de búsqueda directa de organismos, que consiste en realizar caminatas durante el día y la noche en las cuales se revisaron minuciosamente todos los microhábitats disponibles (Angulo *et al*, 2006), este proceso se realizó durante la temporada de lluvias (mayo-octubre), ya que los anfibios son especies que varían su abundancia a lo largo del año determinado por la disponibilidad de agua en el medio (Calderón-Mandujano, 2011). Para la captura de organismos en estadio larval o neoténico, se realizó la remoción con redes de arrastre (Fig. 4A) en pequeños cuerpos de agua como charcos, estanquillos, oquedades de los árboles, entre la vegetación riparia, etc., en donde se removió el total de las larvas mediante sucesivos barridos de la red, y se registró el número de larvas, cuando la claridad del agua y la profundidad lo permitió, los ejemplares fueron capturados con una red de mano extensible y un gancho herpetológico (Fig. 4B).



Figura 4. Captura de individuos de la especie *Ambystoma velasci* en el jagüey de Cantarranas (ambiente perturbado, **A**) en Singuilucan con redes de arrastre. Captura de individuos de la misma especie en el Parque Nacional El Chico (ambiente conservado, **B**) con una red de mano y ganchos herpetológicos. Fotografías por Tonantzin Carmona Zamora y Emiliano Hernández Jiménez.

7.2.2. RECAPTURA

Para evitar la recaptura de ejemplares a lo largo de las salidas a campo, se utilizó un método no invasivo basado en un software de reconocimiento mediante fotografías de los patrones de pigmentación de la región dorsal de la cabeza de los ejemplares, tras la toma de datos de los ajolotes, cada individuo se fotografió en una bandeja con un nivel de agua bajo y un fondo de color claro utilizando una cámara Canon PowerShot SX530 con flash. Posteriormente se recortó cada fotografía para enfocar únicamente la cabeza, todas las fotografías se procesaron en el software de identificación de patrones de coloración de acceso libre “Wild-ID” que utiliza un algoritmo (SIFT) para caracterizar patrones variables dentro de las fotografías y comparar todas las combinaciones de una base de datos, las puntuaciones de similitud van de 0,0 a 1,0 y las coincidencias se recopilan en un archivo de texto (Bolger *et al.*, 2012). Todos los individuos capturados se mantuvieron en recipientes plásticos durante el mínimo tiempo requerido necesario para la toma de datos morfométricos y, posteriormente fueron liberados en el mismo sitio donde fueron capturados (permiso de colector científico emitido por SEMARNAT No. FAUT - 0370) (Angulo *et al.*, 2006; Sánchez-Manjarrez, 2017).

7.2.3. PERIODOS DE ACTIVIDAD Y MICROHÁBITAT

Se midió el periodo de actividad mediante la observación y búsqueda de individuos revisando todos los microhábitats y refugios durante las caminatas. Cada vez que se localizó y capturó un ajolote, se registró el tipo de microhábitat y la hora de actividad de los individuos observados.

7.2.4. MORFOMETRÍA

Con un vernier digital, una báscula marca pesola de 0-30 g. y una báscula gramera digital, se tomaron 11 medidas morfométricas (Fig.5): longitud hocico-cloaca (LHC), largo de la cola (LCo), altura de la cola (AC), ancho de la cabeza (AnCa), altura de la cabeza (ACa), ancho del cuerpo (AnCu), longitud del antebrazo (Lant), longitud del fémur (Lfem.), longitud de la tibia (Ltib), longitud de la extremidad delantera a la extremidad posterior (Lex.-ex), todas en mm, y peso (g). Además, se determinó el dimorfismo sexual mediante el análisis cualitativo de las características morfológicas (Shine, 1979; Reinhard *et al.*, 2014; Kupfer, 2009; Sánchez-Manjarrez, 2017). El único carácter morfológico que se puede reconocer en ajolotes

para diferenciar machos de hembras, es el abultamiento de la cloaca en los machos, debido a la gran actividad glandular para la elaboración del espermatozoido, mientras que en las hembras ésta es plana y más pequeña (Aguilar-Miguel *et al.*, 2009).

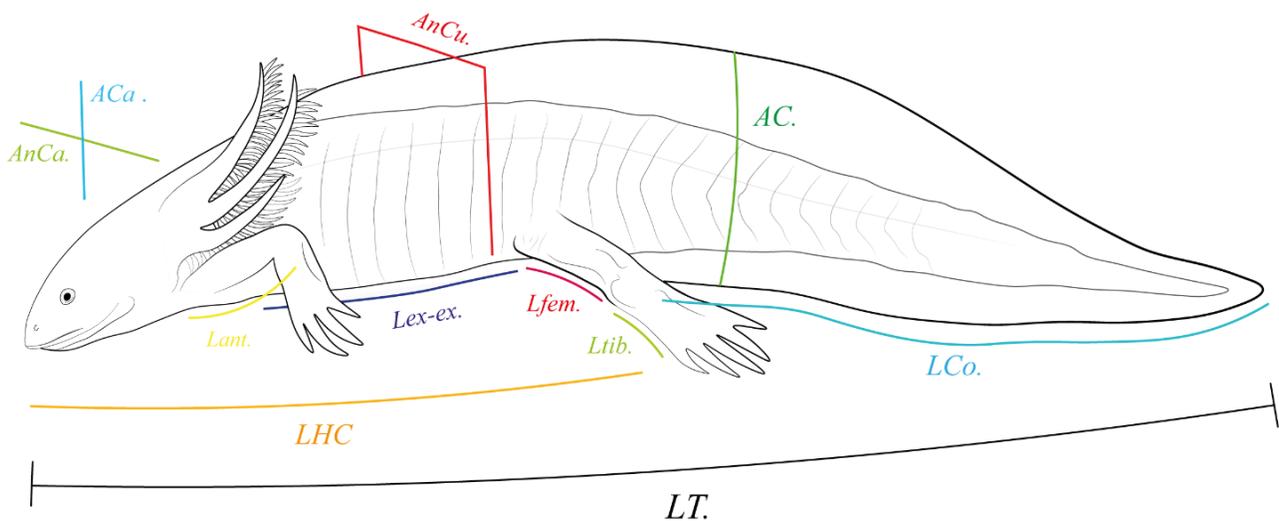


Figura 5. Diagrama que muestra como se midieron los caracteres morfológicos de los ejemplares de *Ambystoma velasci* durante las salidas a campo. Realizado en Adobe Illustrator 2021.

7.2.5. ANÁLISIS DE DATOS MORFOMÉTRICOS

Para los análisis estadísticos, no fue considerado el sexo de los individuos debido a que este no se pudo determinar para todos los casos en ambos ambientes por el estadio de desarrollo en el que se encontraron algunos individuos.

Los datos morfométricos obtenidos fueron agrupados por ambiente y evaluados mediante pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk en el programa Statistica 8.0.

Para eliminar el efecto del tamaño (LHC), se realizó una regresión de todas las variables morfológicas sobre la LHC y se obtuvieron los residuales de la regresión de esta medida en los ajolotes de los dos ambientes contrastantes, después se utilizaron estos residuales en análisis posteriores como variables ajustadas a la LHC. Sobre la LHC estandarizada y los residuales de los otros caracteres morfológicos medidos de los ajolotes,

se aplicó un análisis de funciones discriminantes generalizado para probar las diferencias entre las poblaciones del ambiente perturbado y conservado. Después, se utilizaron las cuatro variables (LHC, AC, AnCu y Lex-ex) significativas obtenidas en el análisis discriminante para realizar una comparación entre las poblaciones de ambos ambientes mediante la prueba univariada no paramétrica de U Mann-Whitney, usando Statistica versión 8.0 y PAST 4.11.

7.2.6. ANÁLISIS DE DIETA

Para obtener el contenido digestivo de *Ambystoma velasci*, se utilizó el método de lavado estomacal descrito por Solé *et al.* (2005) en una submuestra de 20 ajolotes. La técnica consiste en introducir una sonda de catéter conectado a una jeringa en el esófago del organismo, sosteniendo al organismo boca abajo en un recipiente donde se recolectará la muestra, al mismo tiempo, se suministrará de agua constante y lentamente, lo cual induciría al organismo a regurgitar. El método realizado de manera correcta no pone en riesgo la vida del organismo y facilita la captura del contenido digestivo. Una vez realizado el regurgitado fue filtrado, separando en frascos con etanol al 70% los residuos sólidos para su identificación. Posteriormente, para el análisis e identificación de las presas, las muestras fueron procesadas en el laboratorio, el contenido estomacal se colocó en cajas Petri con agua y luego fueron identificadas hasta el nivel de orden bajo un microscopio estereoscópico con apoyo en las claves de Brusca y Brusca (2005).

7.2.7. ANÁLISIS DE DATOS DE DIETA

La composición taxonómica de las presas ingeridas entre los ajolotes de los dos ambientes se comparó utilizando el coeficiente de similitud de Jaccard (Moreno, 2001).

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde a es el número de órdenes registrados en las muestras de dieta de los ajolotes del sitio conservado, b es el número de órdenes registrados en las muestras del sitio perturbado, y c es igual al número de órdenes presentes en ambos sitios (conservado y perturbado). El intervalo de valores de este índice va de 0 cuando no hay categorías

taxonómicas compartidas entre la dieta de ambos sitios, hasta 1 cuando los dos ambientes tienen la misma composición taxonómica de presas.

Se identificó el orden taxonómico de las presas, así como el número de presas y se calculó el porcentaje numérico (%N), la frecuencia de aparición (%F) y el valor de importancia relativa (IRI).

El porcentaje numérico fue obtenido con la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{Ni}{\sum_i^n = 1} (100)$$

Donde Ni es el número de presas en una categoría taxonómica (orden). Después, se calculó la frecuencia de aparición como el número de estómagos de ajolotes, donde se encontró que se alimentan de al menos una presa de una categoría taxonómica, para lo que se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%F = \frac{F}{Fi} (100)$$

Donde F es la frecuencia de aparición de un orden taxonómico de las presas y Fi el número total de ajolotes con contenido estomacal.

Debido a la dificultad para obtener datos precisos del volumen de las presas para determinar el valor de importancia relativa de cada categoría taxonómica de las presas en la dieta, se usó una modificación realizada por Carmona-Zamora (2021) de la fórmula propuesta por Biavati *et al.* (2004), la cual es:

$$I = \frac{\%N + \%F}{2}$$

Donde %N es el porcentaje numérico y %F el porcentaje de frecuencia de aparición. Para representar y comparar gráficamente el valor de importancia relativa de las presas de los dos ambientes se realizaron gráficos de rango-abundancia (Magurran, 2004)

organizando los órdenes de las presas del más importante al menos importante en la dieta de los ajolotes.

7.2.8. PARÁMETROS Y VARIABLES AMBIENTALES

Para obtener los parámetros ambientales y del agua (variables de pH, concentración de amoníaco, nitritos, nitratos, temperatura del agua y del medio en grados Celsius), se tomaron muestras y fueron analizadas *in situ* tras la captura de los organismos con el API® FRESHWATER MASTER TEST, la temperatura fue medida con el termómetro digital FLUKE modelo II-51/52; mientras que para la medición de la profundidad de los cuerpos de agua (en cm), se utilizó una cinta métrica y un peso atado al extremo marca KIT (Abad *et al.*, 2017; Romero y Pineda, 2007); se midió el área de los cuerpos de agua pequeños con la ayuda de una cinta métrica, mientras que para grandes superficies se recurrió a sistemas de información geográfica, generando un polígono en Google Earth™ (Avilés-Ramírez *et al.*, 2018).

7.2.9. ANÁLISIS DE DATOS DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

A las variables registradas de temperatura (del agua y del medio), se les aplicó pruebas de normalidad para determinar la viabilidad de usar pruebas estadísticas paramétricas. Con el fin de determinar si existen diferencias entre la temperatura del ambiente y la del microhábitat, se llevó a cabo una prueba t de Student. Para las otras variables ambientales (pH, amoníaco, nitritos, nitratos) no se realizaron pruebas estadísticas, únicamente se compararon entre sí y se verificó que se ubicaran en los límites considerados como adecuados para *Ambystoma* en base a lo reportado en la literatura,

8. RESULTADOS

Morfometría y recaptura

En total se capturaron y midieron 66 ajolotes (35 en el ambiente perturbado y 31 en el conservado). En el ambiente perturbado (Singuilucan) se identificaron 19 machos y 16 hembras, mientras que en el conservado (PNCH) se identificaron 11 machos, 4 hembras y 11 ajolotes juveniles que no fue posible sexar. El análisis de función discriminante mostró

diferencias significativas en la LHC (Wilks $\lambda=0.894$, $F=7.81$, $df=1, 54$, $P<0.05$), AC (Wilks $\lambda=0.874$, $F=7.81$, $df=1,54$, $P<0.05$), AnCu (Wilks $\lambda=0.914$, $F=5.03$, $df=1,54$, $P<0.05$) y Lex.-ex. (Wilks $\lambda=0.909$, $F=5.34$, $df=1,54$, $P<0.05$) entre los ajolotes de los dos ambientes. En estas variables, los ajolotes difieren morfológicamente entre el ambiente perturbado y conservado (Fig.5), teniendo tallas más grandes en el ambiente perturbado en la longitud hocico-cloaca ($n=35$, $LHC=71.41 \pm 4.97$ mm. SD), alto de la cola ($n=35$, $AC=21.15 \pm 3.17$ mm. SD), ancho del cuerpo ($n=35$, $AnCu=19.44 \pm 2.55$ mm. SD) y longitud de la extremidad delantera a la extremidad posterior ($n=35$, $Lex.-ex.=35.11 \pm 3.66$ mm. SD).

Los resultados arrojados por el software de foto-identificación (Wild-ID) no encontraron coincidencias entre los ejemplares capturados en cada uno los ambientes, por lo que se tomó a cada ejemplar captura como un individuo independiente.

Tabla 2. Resumen de las características morfológicas de *Ambystoma velasci* en dos ambientes contrastantes en el Estado de Hidalgo. Abreviaturas: : longitud hocico-cloaca (LHC), largo de la cola (LCo), altura de la cola (AC), ancho de la cabeza (AnCa), altura de la cabeza (ACa) , ancho del cuerpo (AnCu), longitud del antebrazo (Lant.), longitud del fémur (Lfem.), longitud de la tibia (Ltib.), longitud de la extremidad delantera a la extremidad posterior (Lex.-ex), todas en milímetros , y el peso en gramos. PNCH= Parque Nacional el Chico (ambiente conservado) y SNGLN= Singuilucan (ambiente perturbado).

Características	PNCH (n=31)	Rango	Desv. estándar	SNGLN (n=35)	Rango	Desv. estándar
Peso (g)	13.90	5-41	10.17	23.10	15.2-30	3.96
LHC (mm)	62.20	46.97-100.16	13.88	71.41	60.95-81.70	4.97
LCo (mm)	59.20	35.88-94.53	14.80	65.32	33.40-78.71	9.20
LT (mm)	122.50	82.85-193.01	28.11	136	107.86-159.45	11.21
AC (mm)	15.74	8.41-24.39	3.93	21.15	10.60-25.71	3.16
AnCa (mm)	17.10	12.80-27.87	4.56	20.72	16.91-24.84	1.64

Aca (mm)	11.20	8.90-18.41	2.72	12.96	8.78-16.45	1.68
AnCu (mm)	16	9.82-24.28	3.28	19.44	13.68-23.53	2.55
Lant (mm)	5.80	3.60-11.15	1.95	7.41	5.24-9.09	0.88
Lfem (mm)	5.40	3.1-10.45	2.02	7.08	5.59-10.47	1.066
Ltib (mm)	5.60	2.4-8.24	1.68	6.25	4.36-9.07	0.95
Lex-ex (mm)	30.20	17.1-45.1	6.52	35.11	26.95-42.37	3.66

***Nota:** Los resultados del ambiente conservado PNCH (Parque Nacional el Chico) agrupa a todos los ejemplares capturados dentro de los sitios de muestreo dentro del parque (Valle de los enamorados, San Cayetano y El Oyamel), mientras que los resultados de SNGLN (Singuilucan) incluye a los ejemplares del único sitio de muestreo, que corresponde al jagüey ubicado en “Cantarranas” en el Ejido de Tilhuacán.

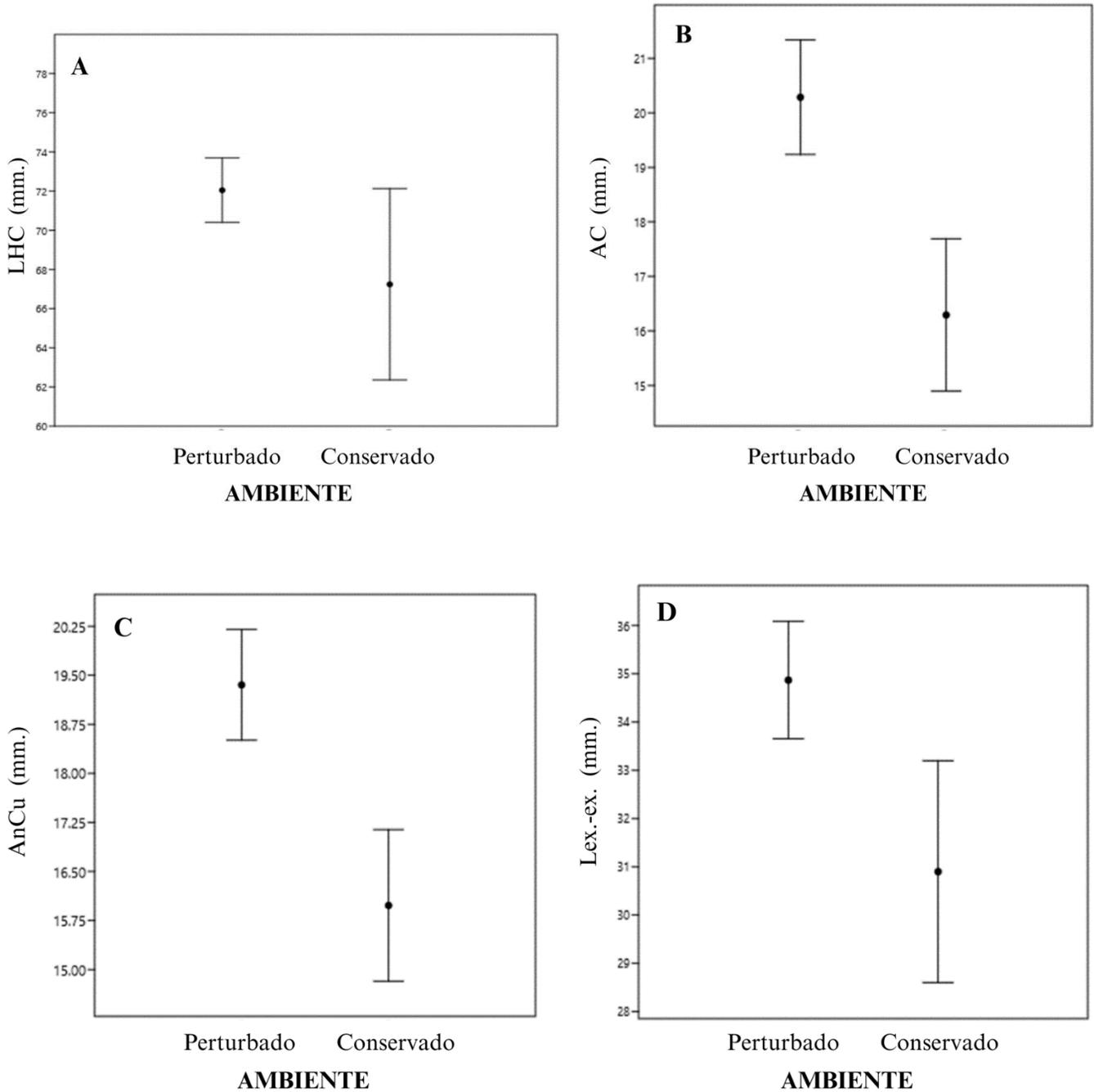


Figura 6. Comparación de las medias de las variables señaladas por el análisis de funciones discriminantes, donde A=longitud hocico-cloaca, B =Altura de la cola, C =Ancho del cuerpo y D=longitud de la extremidad delantera a la extremidad posterior de *A. velasci* en dos ambientes, conservado (n=35) y perturbado (n=31). Gráficos realizados en Past 4.0.

Respecto al contenido estomacal, se obtuvieron muestras de 19 ajolotes en total (diez en el ambiente perturbado y nueve en el conservado), de los cuales seis fueron machos y cuatro hembras en el ambiente perturbado; mientras que para el ambiente conservado seis fueron machos, dos hembras y uno se encontró en estadio larval. Se encontró e identificó contenido estomacal en ocho individuos del ambiente perturbado, y en todos los individuos (nueve) del conservado, el resto de ejemplares no expulsó contenido estomacal. En total se identificaron 12 categorías taxonómicas diferentes de presas identificadas a nivel orden.

De los 12 órdenes identificados en el contenido estomacal de los ajolotes, solo tres estuvieron presentes en ambos ambientes, por lo que el coeficiente de similitud de Jaccard fue de 0.25. Las presas del orden Coleoptera, Crassiciellata, Araneae, Anomopoda, Tubificida y Plecóptera fueron exclusivos del ambiente conservado; mientras que, las presas del orden Amphipoda, Hemíptera y Basommatophora únicamente se encontraron en el ambiente perturbado, siendo las del orden Odonata, Díptera y Podocopida, las únicas presas compartidas entre ambos ambientes (Fig.7).

Contenido estomacal de *A. velasci* en dos ambientes contrastantes

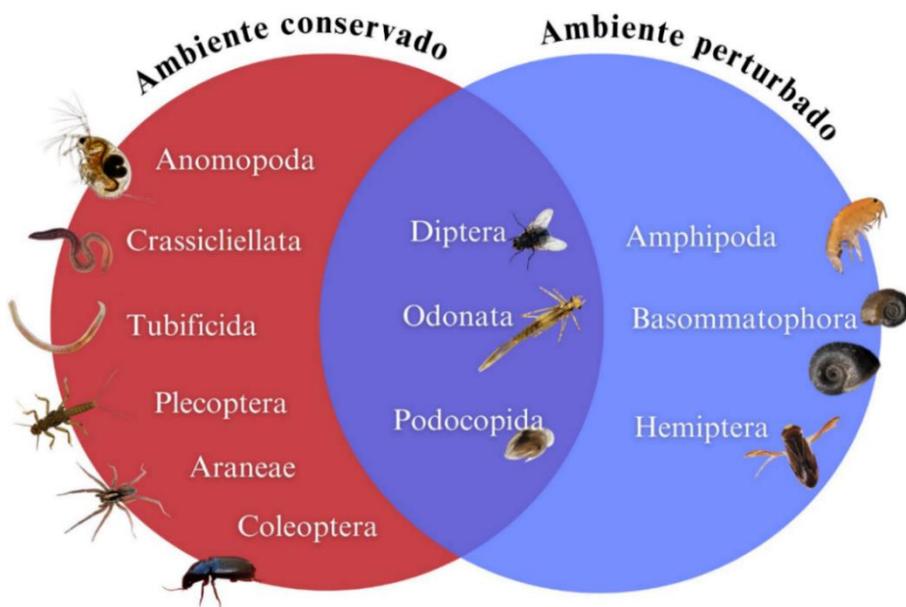


Figura 7. Comparación de la composición taxonómica, a nivel orden, de las presas identificadas en el contenido estomacal de los ajolotes (*A. velasci*) de un ambiente conservado (Parque Nacional el Chico) y uno perturbado (Singuilucan). Figurada generada en Canva Pro.

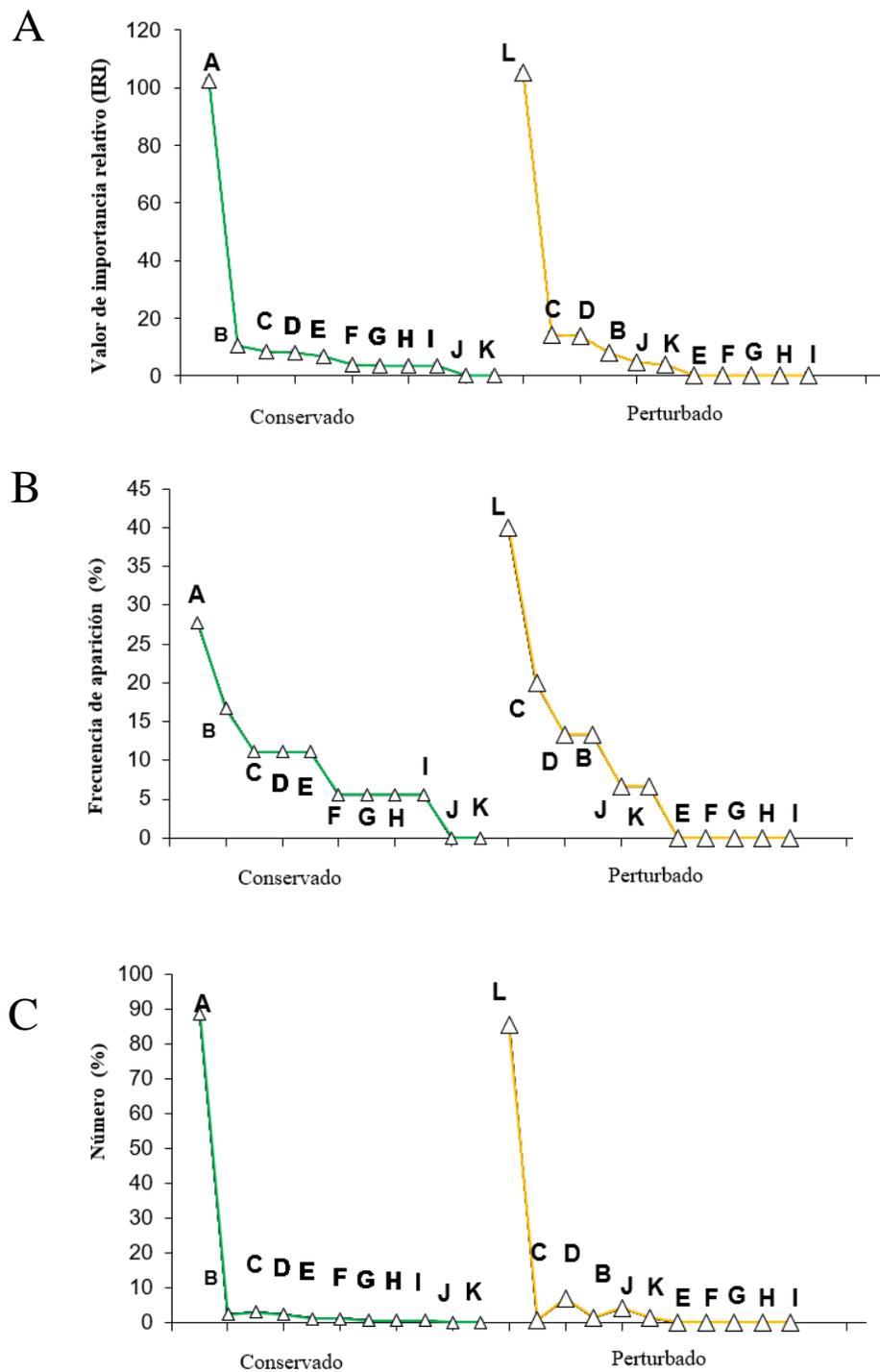


Figura 8. Gráficos de rango-abundancia que muestran el valor de importancia de las presas que componen la dieta de *A. velasci*. Gráfico A: valor de importancia de las presas, donde: A= Anomopoda, B=Díptera, C= Odonata, D= Podocopida, E= Crassiciellata, F= Tubificida, G= Plecóptera, H= Araneae, I= Coleoptera; J=Bassomatophora, K=Hemíptera,

L=Amphipoda. Gráfico B: Frecuencia de aparición de las presas y Gráfico C: Porcentaje numérico de las presas.

Tabla 3. Taxón de la presa, número total de organismos contados, porcentaje numérico (%N), frecuencia de aparición (%F) e índice de importancia relativa (IRI) de las presas encontradas en el contenido estomacal de *Ambystoma velasci* n dos ambientes contrastantes de Hidalgo, México.

Ambiente Conservado				
TAXÓN	NO. TOTAL	%N	%F	IRI
Coleoptera	1	0.578	1	3.35581246
Crassiclitellata	2	1.156	2	6.71162492
Araneae	1	0.578	1	3.35581246
Anomopoda	153	88.439	5	102.328195
Odonata	5	2.890	2	8.44572897
Diptera	4	2.312	3	10.6454721
Podocopida	4	2.312	2	7.86769428
Tubificida	2	1.156	1	3.93384714
Plecoptera	1	0.578	1	3.35581246
Total	173	100	18	150

Ambiente Perturbado				
Taxón	No. Total	%N	%F	IRI
Amphipoda	123	85.416	6	105.416667
Hemiptera	1	0.694	1	4.02777778
Podocopida	10	6.944	2	13.61111111
Diptera	2	1.388	2	8.05555556
Odonata	6	4.166	3	14.1666667

Basommatophora	2	1.388	1	4.72222222
Total	144	100	15	150

Uso del Microhábitat y variables ambientales

Con respecto a la selección de microhábitat, del total de individuos registrados en el ambiente perturbado, 35 (100%), se capturaron estando enredados en la densa vegetación del centro del jagüey, a una profundidad media de 51 cm. Para los otros sitios, en el ambiente conservado, del total de individuos avistados y capturados, 7 (22.5%), se encontraron realizando su actividad en el fondo del cuerpo de agua, refugiándose entre las rocas, a una profundidad media de 55.38 cm, 11 (35.48 %) se encontraron realizando su actividad al fondo de los cuerpos de agua, sobre el lodo, a una profundidad media de 32 cm, 2 (6.45%) fueron encontrados refugiándose entre los troncos sumergidos, a una profundidad media de 32 cm, 1 (3.22%) fue capturado mientras realizaba su actividad en huecos, cerca de la vegetación raparúa del riachuelo, a una profundidad de 32 cm, 3 (9.67%) se encontraron a la orilla del cuerpo de agua, a una profundidad media de 32 cm, y por último, 7 (22.58%) se encontraron entre la vegetación, a una profundidad media de 32 cm. Durante los muestreos, se encontró un ejemplar con desarrollo completo, como salamandra, realizando su actividad en el agua.

Tabla 4. Variables ambientales obtenidas en los sitios de muestreo de *Ambystoma velasci*. Las abreviaturas son PNCH= Parque Nacional el Chico, SNGLN= Singuilucan . Las variables ambientales se encuentran en diferentes unidades de medida, la temperatura está en grados Celsius (°C), Las concentraciones se encuentran en partes por millón (ppm), la profundidad se encuentra en centímetros (cm), el área en metros cuadrados (m²), la profundidad en metros (m) y la altitud en metros sobre el nivel del mar (msnm).

Sitio	Temperatura		pH	Concentración			Profundidad	Área	Perímetro	Altitud (m s. n. m.)
	Ambiental	Agua		Amoniaco	Nitritos	Nitratos				

PNCH	Valle de los enamorados	22 °C	15.1 °C	7.5	0 ppm	0 ppm	0 ppm	70 cm	37.17 m ²	24.71 m	2912
	El Oyamel	16.8 °C	13.5 °C	6.8	0.25 ppm	0 ppm	0 ppm	37 cm	56.92 m ²	28.68 m	2898
	San Cayetano	6.7 °C	10.5 °C	7.6	0 ppm	0 ppm	0 ppm	32 cm	22.51 m ²	34.78 m	2884
SNGLN	Cantarranas	21 °C	16.5 °C	6.6	0.25 ppm	0 ppm	0 ppm	51 cm	858.98 m ²	107.82 m	2623

No hubo diferencias significativas entre la media de la temperatura ambiental y la temperatura del microhábitat ($t = 0.73159$, $p = 2.4469$). La profundidad media de los cuerpos de agua del ambiente conservado fue de 46.3 cm, mientras que para el conservado fue de 51 cm. Los datos de concentración de compuestos nitrogenados se encontraron dentro de los parámetros aceptables para *Ambystoma*, obteniendo valores equivalentes a 0 ppm (partes por millón) en la mayoría de las variables medidas, a excepción de El Oyamel (ambiente conservado) y Cantarranas (ambiente perturbado), donde las muestras de agua presentaron niveles de amoníaco equivalentes a 0.25 ppm. El área promedio de los cuerpos de agua del ambiente conservado (36.86 m²) fue notoriamente menor a la del sitio perturbado (858, 98 m²). Otro factor importante a considerar es la permanencia de los cuerpos de agua, siendo los riachuelos y la presa artificial del ambiente conservado, temporales, llenándose únicamente en épocas de lluvias, a diferencia del ambiente perturbado, donde el jagüey se mantiene con agua la mayor parte del año, producto del escurrimiento de otros jagüeyes de la zona.

9. DISCUSIÓN

Las salamandras del género *Ambystoma*, aunque se consideran animales epibentónicos, han sido registrados en todos los estratos de la columna de agua y viven en una gran variedad de microhábitats (Aguilar-Miguel, 2005). Los individuos neoténicos pueden utilizar troncos, rocas, sustratos fangosos con arena, grava o se refugian entre la vegetación acuática de los cuerpos de agua; mientras que los individuos adultos transformados viven en refugios que mantienen mucha humedad, en los alrededores de los cuerpos de agua, como madrigueras de

mamíferos pequeños o troncos en descomposición (Anderson y Worthington, 1971; Anderson y Web, 1978; Rosas-Espinoza *et al.*, 2014).

De acuerdo a los registros obtenidos, en los sitios del ambiente conservado, *A. velasci* utiliza principalmente el sustrato fangoso y huecos entre las rocas como refugio, seguido de la vegetación en las inmediaciones de los cuerpos de agua y en la orilla, así como entre troncos sumergidos. En el ambiente perturbado, el microhábitat más utilizado por *A. velasci* fue la vegetación asociada a las zonas más profundas del jagüey, la afinidad de la especie por refugios con una densa cobertura vegetal podría indicar que dicho microhábitat les ofrece mayores beneficios, según Lindquist y Bachmann (1980) los ajolotes pueden dedicar una considerable fracción de su tiempo a la observación constante desde el lecho acuático con el propósito de capturar a sus presas, por lo tanto, la presencia de cobertura vegetal podría beneficiar al ajolote al proporcionarle sitios para ocultarse además de mayor disponibilidad de presas, protección ante depredadores, mantenimiento de la temperatura, etc. La estrategia de forrajeo más efectiva de *A. velasci* es de carácter pasivo y se conoce como "sit and wait" (esperar y acechar), en esta táctica, el ajolote adopta una postura sedentaria en un sitio estratégico (entre la vegetación por ejemplo) en la que aguarda a que el alimento se aproxime lo suficiente para ser capturado (Lindquist y Bachmann, 1980).

Lo anterior coincide con trabajos realizados con otras especies como el de Ayala *et al.* (2019), quienes analizaron la relación entre la presencia de cobertura vegetal y la distribución de los ajolotes mediante radio-telemetría en dos ambientes distintos; el Zoológico de Chapultepec y Xochimilco, *Ambystoma mexicanum* mostró una tendencia a utilizar microhábitats con cobertura vegetal sobre microhábitats sin cobertura vegetal, tanto en ambientes artificiales como naturales, siendo la vegetación un componente importante del hábitat para los ajolotes.

Está bien documentado que la fisicoquímica del agua y la temperatura influyen en el desarrollo y calidad de vida de los anfibios, así como en aspectos relacionados a la metamorfosis, la reproducción, la velocidad de desarrollo y la dinámica poblacional (Berkhouse y Fries, 1995; Whiteman *et al.*, 1995). Respecto a los parámetros ambientales

registrados, los valores de pH en los cuatro sitios de muestreo se encuentran dentro del rango ideal (6.6 a 7.6) reportado por la mayoría de autores para otras especies como, *A. mexicanum* y *A. ordinarium*, que va de 6.5 a 8.5 (Servín, 2011) Sin embargo, en el cuerpo de agua de Cantarranas (ambiente perturbado) se registró el valor de pH más ácido (6.6), seguido de “El Oyamel” con 6.8, mientras que en el de San Cayetano (ambiente conservado), se registró un pH más alcalino (7.6). Lo anterior puede corresponder a los valores de amoníaco obtenidos, donde únicamente en Cantarranas y en “El Oyamel”, se obtuvieron valores de importancia (0.25 ppm/ 5ml.). Asimismo, el pH ácido aumenta la toxicidad de compuestos con amonio (Servín, 2011).

El nitrógeno amoniacal tiene diversas fuentes de origen y se encuentra de manera natural en los cuerpos de agua, además, constituye el principal compuesto nitrogenado excretado por los organismos acuáticos. Este compuesto se genera en aguas profundas a través de una reacción provocada por las bacterias, que reducen los nitratos (NO₃) en amonio (Pacheco *et al.*, 2002). Por otro lado, la descomposición de animales muertos también contribuye a la generación de nitrógeno amoniacal. Sin embargo, un exceso de amonio, nitrato o nitrito puede provenir no solo de fuentes naturales, sino también del uso indiscriminado de insecticidas y fertilizantes (Cárdenas y Sánchez, 2013).

En relación a los efectos de la contaminación por compuestos nitrogenados, el jagüey donde se realizaron los muestreos en el ambiente perturbado se encuentra rodeado de áreas utilizadas para la siembra, donde, según los pobladores se emplean grandes cantidades de agroquímicos. Estos compuestos podrían infiltrarse en el cuerpo de agua, generando potencialmente efectos mutagénicos sobre la población de ajolotes *A. velasci*, según Echegaray y Hernando (2003) y Lajmanovich *et al.* (2012) la calidad del agua es un factor relacionado con la aparición de deformidades en organismos acuáticos, por lo que, la exposición a altas concentraciones de agroquímicos y metales pesados puede ocasionar malformaciones en las larvas de anfibios. Una posible evidencia de este efecto, fue el hallazgo de un ejemplar capturado durante el muestreo (Fig. 9), que presentó la cola con signos de haber sido regenerada, siendo anormalmente corta (33.40 mm) en comparación con la media de la población muestreada (LCo: 65.32 mm; n=35, error estándar=1.5556), este

ejemplar mostraba un apéndice en la cola con apariencia de aleta. Por otro lado, la pérdida y regeneración de la cola en este caso también pudo haber sido causada por el ataque de un depredador o por otro individuo de la misma especie, ya que, aunque las interacciones agresivas entre salamánderos no han sido documentadas, sí existe evidencia de canibalismo en esta especie (Vite-Silva *et al.*, 2009).

En otros ambistomátidos mexicanos existen pocos registros de malformaciones, en *Ambystoma mexicanum* (Robles-Mendoza *et al.*, 2009) existen registros de flexión lateral de la cola (escoliosis) en larvas tratadas en laboratorio bajo el efecto de pesticidas organofosforados, mientras que, se han reportado múltiples deformidades en *A. ordinarum* (Soto-Rojas *et al.*, 2017), como miembros anormalmente pequeños, ausencia de dígitos, dígitos anormalmente cortos, fusión de dígitos, duplicación de miembros completos o partes de ellos (polimelia), cola incompleta o regenerada, entre otras, en arroyos de Michoacán (Henle *et al.*, 2017). En el caso del ajolote del altiplano (*Ambystoma velasci*), se ha reportado la ausencia de dedos (ectrodactilia o braquidactilia), así como individuos con múltiples dedos (polidactilia) en áreas agrícolas en Querétaro (Cruz-Pérez *et al.*, 2009).



Figura 9. Ejemplar juvenil de *Ambystoma velasci* con cola bifurcada capturado en el jagüey del ambiente perturbado en la zona de Cantarranas, municipio de Singuilucan, Hidalgo, México. Fotografía por Emiliano Hernández Jiménez.

Los efectos del amonio no fueron evaluados en este estudio, sin embargo, se observaron diferencias en el fenotipo que podrían estar relacionadas a la concentración de amonio en el agua, por ejemplo, el volumen branquial de los ajolotes de “El Oyamel” fue menor en comparación con la población de “Cantarranas” (Fig.9) a pesar de que en ambos sitios los niveles de amonio fueron idénticos, esta diferencia fenotípica también se podría ver influenciada por otros factores no evaluados durante este trabajo como la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, según Servín (2011) en los ajolotes que viven aguas con poca oxigenación se puede observar atrofia de las branquias, ya que complementan su respiración por medio de la piel y los pulmones. Para ajolotes, el nivel máximo de amonio debe ser menor a 0.1 mg/l, altos niveles de amonio pueden afectar la fisiología de los organismos, algunos de los efectos tóxicos del amonio reportados en ajolotes incluyen incremento en la producción de moco, destrucción de la piel y pérdida del volumen branquial, opacidad corneal, hemorragias, disminución del crecimiento, además de susceptibilidad a infecciones por hongos y bacterias (Vinatea, 2022; Servín, 2011). Mendoza-Almeralla (2009) demostró que el amonio presenta el rol predominante entre los compuestos nitrogenados en cuanto a su influencia sobre el desarrollo y la viabilidad de los huevos de *Ambystoma mexicanum*, asimismo, el nitrito y el nitrato le siguen en impacto; esta investigación indicó que cuando los huevos fueron expuestos a concentraciones superiores a 0.20 mg/l de amonio, 0.25 mg/l de nitrito y 4 mg/l de nitrato, la tasa de supervivencia de los organismos se redujo en más de un 80%.

A pesar de los posibles efectos del nitrógeno en los ajolotes antes mencionados, las poblaciones de Cantarranas y el Parque Nacional el Chico se encontraron sanas, una de las posibles razones de su éxito podría ser una elevada tolerancia ante ciertos contaminantes. No obstante, es importante destacar que existen especies en las que todos los individuos muestran una tolerancia similar a los compuestos nitrogenados y por tanto, cuando se supera un determinado umbral de concentración, todos los individuos sufren los efectos o mueren (Marco, 2002). En este contexto, se resalta la importancia de llevar a cabo estudios

ecotoxicológicos para comprender mejor la respuesta de *Ambystoma velasci* ante la presencia de contaminantes con el fin de establecer umbrales críticos de tolerancia.

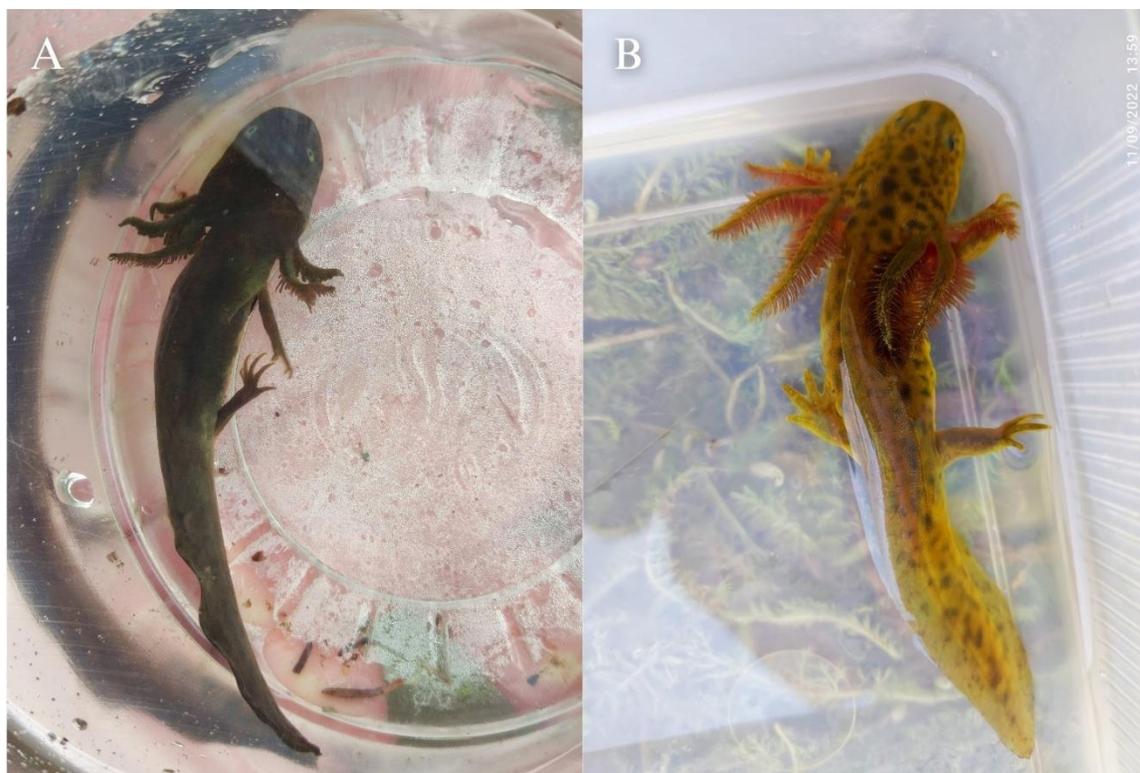


Figura 10. Variación fenotípica de *Ambystoma velasci* entre dos ambientes contrastantes; el ejemplar **A** proviene del ambiente conservado, mientras que el ejemplar **B** procede del ambiente perturbado. Se aprecia una notable la diferencia en la coloración y condición corporal de los ajolotes. Fotografías por Emiliano Hernández Jiménez.

Los datos revelan que *A. velasci* exhibe una dieta relativamente diversa, caracterizada por un mayor consumo de algunos órdenes de presas, como Amphipoda y Anomopoda, en comparación con otros órdenes, como Hemiptera y Coleoptera, que son consumidos en proporciones más bajas. Esta distinción se basa en la frecuencia de aparición en las muestras de lavado estomacal.

La variación en las presas consumidas por los ajolotes en ambos ambientes podría estar vinculada a la disponibilidad de presas en estos entornos. La composición y disponibilidad de las presas pueden influir en las disparidades observadas en la condición

corporal de *Ambystoma velasci*, evidenciada por la baja similitud entre el ambiente conservado y el perturbado (Jaccard= 0.25).

Es posible inferir que, al tener mayor número de presas en el ambiente conservado, los ajolotes podrían tener una mayor depredación y tallas más grandes, sin embargo, resulta notable que las mayores tallas se encontraran en el ambiente perturbado, a pesar de que en este ambiente los ajolotes consumieron una menor diversidad de presas.

Siguiendo la pauta de consumo evidenciada en *A. velasci*, la composición dietética de distintas especies de *Ambystoma* ha sido objeto de previas investigaciones en entornos similares a los abordados en este estudio. Por ejemplo, en un contexto transformado dentro de la microcuenca Corral de Piedra en Amanalco de Becerra, Estado de México, se destaca que *Ambystoma rivulare* incluye en su dieta al orden Amphipoda como componente preponderante (Sánchez-Manjarrez, 2020). Cabe señalar que los anfípodos ostentan una notable presencia en ambientes acuáticos, representando una fracción significativa de la biomasa total de invertebrados. A su vez, desempeñan un papel crucial como productores secundarios y como fuente alimenticia para otros invertebrados, peces, anfibios y aves (Giorgi y Tiraboschi, 1999).

La abundancia de restos de materia vegetal hallados en la mayoría de las muestras de contenido estomacal de *A. velasci* sugiere una posible vinculación con su estrategia de forrajeo distintiva. La versatilidad alimentaria de los *Ambystoma*, caracterizada por la ausencia de especialización en un tipo específico de presa, les permite alimentarse de prácticamente cualquier organismo que no sea demasiado grande o rápido para que el ajolote lo capture (Noble, 1931; Grusser-Cornehls y Himstedt, 1976). Curiosamente, se han registrado observaciones en las que estos organismos demostraron ingerir pequeñas rocas y partículas de sedimento presentes en el lecho de arroyos y ríos (Collins y Holomuzki, 1994). Este comportamiento alimentario flexible podría desempeñar un papel crucial en la adaptabilidad de *A. velasci* a distintos entornos, como se evidencia en las capturas realizadas tanto en el jagüey de Cantarranas (ambiente perturbado) en Singuilucan como en el Parque Nacional El Chico (ambiente conservado) en el Estado de Hidalgo. Estos hallazgos respaldan

la idea de que la plasticidad en la dieta de *A. velasci* es una estrategia adaptativa para maximizar su éxito biológico en diversos hábitats acuáticos.

Es posible que la marcada variación en la condición corporal de los ajolotes pueda ser explicada por la cantidad de alimento disponible y su valor nutrimental, lo cual no ha sido evaluado en este estudio. Aunque no se cuantificó la disponibilidad de las presas en el jagüey, se observaron grandes concentraciones de organismos de los órdenes Diptera y Odonata asociados a la vegetación del fondo del cuerpo de agua, superando significativamente a la presencia de presas en los cuerpos de agua muestreados en el Parque Nacional El Chico, siendo esta diferencia en la disponibilidad de las presas un posible factor para la marcada diferencia en la condición corporal de *A. velasci*, aunque se requiere una evaluación más detallada de la composición nutricional y la oferta alimenticia para corroborar esta hipótesis.

La variabilidad observada en la condición corporal de los ajolotes plantea la posibilidad de que el jagüey desempeñe un papel fundamental como refugio y hábitat sustituto en la región. Este cuerpo de agua podría actuar como un punto de concentración para diversas especies, sirviendo como el único entorno adecuado para su supervivencia en un área extensa de varios kilómetros a la redonda (Chará, 2004). Este fenómeno resalta la importancia potencial de los hábitats acuáticos como nodos cruciales para la biodiversidad regional. En este sentido, el jagüey podría ser un ecosistema vital que proporcione condiciones propicias para el establecimiento y conservación de una amplia variedad de especies vegetales y animales (Declerk *et al.*, 2006). La concentración de organismos, como se evidencia en la presencia notable de los órdenes Diptera y Odonata asociados a la vegetación del fondo, sugiere la existencia de interacciones complejas dentro de este hábitat acuático.

La capacidad del jagüey para proveer alimento y refugio podría ser esencial no solo para los ajolotes, sino también para otras formas de vida acuática, contribuyendo así a la diversidad biológica de la región. Este planteamiento se alinea con estudios previos que han destacado la importancia de hábitats similares en la conservación de la biodiversidad acuática (Chará *et al.*, 2008). Sin embargo, es fundamental realizar investigaciones más detalladas

para comprender completamente el papel ecológico del jagüey y su contribución al mantenimiento de la diversidad biológica en el área.

10. CONCLUSIONES

- *Ambystoma velasci* utilizó una gran variedad de microhábitats en los dos ambientes de estudio, sin embargo, se observó cierta tendencia hacia el uso de refugios con cobertura vegetal, especialmente aquellos ubicados en la parte central de los cuerpos de agua y a profundidades mayores, donde se minimiza su exposición a posibles depredadores y se beneficia de temperaturas más bajas.
- En términos generales, los parámetros fisicoquímicos del agua se constataron dentro de los límites tolerables mencionados en la literatura para el género *Ambystoma*. No obstante, al comparar los niveles de contaminación por compuestos nitrogenados en los dos ambientes con grados distintos de perturbación, se observó que las poblaciones de "Cantarranas" (ambiente perturbado) y "El Oyamel" (ambiente conservado) fueron las más afectadas, evidenciando los niveles más elevados de amoníaco.
- La composición de la dieta de los ajolotes que residen en el Parque Nacional El Chico exhibió una similitud parcial de aproximadamente un 25% en comparación con la de los ajolotes que habitan en el jagüey de Cantarranas. En ambos entornos, las presas pertenecientes a los órdenes Anomopoda y Amphipoda se destacaron como las más significativas en términos de su abundancia y frecuencia de aparición en cada ambiente, respectivamente.
- Es posible que las diferencias observadas en la disponibilidad de las presas impliquen variaciones en la condición corporal de los ajolotes, dado que, a pesar de que en el ambiente conservado existía una mayor diversidad de presas, los ajolotes del ambiente perturbado presentaron una talla superior. La persistencia de los cuerpos de agua en el ambiente perturbado a lo largo del año, debido a las actividades ganaderas de los ejidatarios, podría suponer una ventaja frente a las poblaciones del ambiente

conservado, ya que este mantenimiento garantiza un ambiente idóneo para la reproducción de los ajolotes y sus presas durante más tiempo a lo largo del año.

- *Ambystoma velasci* presentó una gran disparidad fenotípica entre los dos ambientes, mostrando marcadas diferencias en cuanto a morfometría y coloración, teniendo una longitud hocico-cloaca (LHC) media de 71.41 mm en el ambiente perturbado y de 62.20 mm en el ambiente conservado.
- Los resultados sugieren que *Ambystoma velasci* es capaz de adaptarse a ambientes con cierto grado de perturbación y contaminación, ya que se observó una mayor talla y peso en el ambiente perturbado en comparación con el ambiente conservado, lo que resulta en diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes estudiados, la alta concentración de presas en el jagüey podría ser un factor clave en su alimentación y subsistencia en ambientes fragmentados.
- Dada la presencia de *Ambystoma velasci* en ambientes antropizados, la amenaza de extracción ilegal de esta especie y la contaminación de su hábitat, se considera imperativo realizar trabajos con monitoreos sistemáticos que permitan conocer la dinámica poblacional a lo largo del tiempo, que permitan tener bases sólidas para implementar acciones de conservación con el objetivo de mitigar el impacto antrópico sobre estos ecosistemas y, por ende, evitar el declive de las poblaciones del ajolote.
- La creación y mantenimiento de nuevos jagüeyes en la zona podría contribuir significativamente a la conservación de especies como el ajolote, las cuales dependen estrictamente de la disponibilidad de cuerpos de agua para su reproducción.

11. LITERATURA CITADA

- Abad, L., Mejía, D., León, P., Cárdenas, I., Pacheco, B. y Tonon, M. D. 2017. Calidad del Agua y Variables Ambientales en Hábitats para Anfibios Amenazados en la Zona Urbana de Cuenca. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (18): 18-34 p.
- Aguilar-Miguel, X. 2002. Algunas especies de anfibios y reptiles contenidos en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Facultad de Ciencias, Centro de Investigación en Recursos Bióticos, Universidad Autónoma del Estado de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W035. México, D.F.
- Aguilar-Miguel, X., Legorreta, B. G., y Casas-Andreu, G. (2009). Reproducción ex situ en *Ambystoma granulorum* y *Ambystoma lermaense* (Amphibia: Ambystomatidae). *Acta zoológica mexicana*, 25(3): 443-454 p.
- Aguilera-Hernández, A. 2017. Estructura y diversidad genética de una salamandra micro endémica (*Pseudoeurycea robertsi*) y críticamente amenazada del Nevado de Toluca. Tesis de Licenciatura. México. Universidad Autónoma del Estado de México. 8-20 p.
- Altamirano-Piolle, M. E. 1997. José María Velasco científico. *Ciencias*, (045). Recuperado a partir de <https://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/11546>
- Alvarado-Gómez, N. 2016. Evaluación de la calidad del agua y los sedimentos y su relación con la presencia de la salamandra de montaña (*Ambystoma ordinarium*) en arroyos de los municipios del noroeste del Estado de Michoacán. Tesis de Maestría. México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 4-33 p.
- Anderson, J. D. y Webb, R. G. 1978. Life History Aspects of the Mexican Salamander *Ambystoma rosaceum* (Amphibia, Urodela, Ambystomatidae). *Journal of Herpetology*, 12(1): 89-93 p.
- Anderson, J. D. y Worthington, R. D. 1971. The Life History of the Mexican Salamander *Ambystoma ordinarium* Taylor. *Herpetologica*, 27(2): 165-176 p.

- Angulo, A., Rueda-Almonacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J. V., y La Marca, E. (Eds). 2006. Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá D.C. 298 p.
- Avilés-Ramírez, G. A, Ruíz-Iriarte, S., Castellot-Pedraza, V., Chan-Uc, D. M. y Guerrero-Turriza, H. O. 2018. Uso del Google Earth™ para evaluar la pérdida de cubierta vegetal en China, Campeche, México. *Agro Productividad* 10, (5): 73-78 p.
- Ayala, C., Ramos, A. G., Merlo, Á., y Zambrano, L. 2019. Microhabitat selection of axolotls, *Ambystoma mexicanum*, in artificial and natural aquatic systems. *Hydrobiologia*, (828): 11-20 p.
- Beebee, T. J. C. y Griffiths, R. A. 2005. The amphibian decline crisis: A watershed for conservation biology?. *Biological Conservation*, 125 (3): 271-285 p.
- Berkhouse, C. S., y Fries J. N. 1995. The critical thermal maximum of San Marcos salamanders (*Eurycea nana*). *National Biological Service Information Bulletin. The Southwestern Naturalist*, 40 (4): 430-434 p.
- Biavati, G. M., Wiederhecker, H. C. y Colli, G. R. 2004. Diet of *Epipedobates flavopictus* (Anura: Dendrobates) in a neotropical savanna. *Journal of Herpetology*, (38): 510-518 p.
- Bolger, D. T., Morrison T. A., Vance, B., Lee, D. y Farid, H. 2012. A computer-assisted system for photographic mark-recapture analysis. *Methods in Ecology and Evolution* (3): 813–822 p.
- Bravo, J. y Moreno, G. 2020. Chytridiomycosis in amphibians. *Bol. Soc. Micol. Madrid* (44): 27-49 p.

- Brusca, R. C. y Brusca, G. J.. 2005. Invertebrados. 2da edición. McGraw Hill. Interamericana de España, S. A. 1005 p.
- Calderón-Mandujano, R. R. 2011. Estrategia para el manejo de anfibios sujetos a uso en México. Temas sobre Conservación de Vertebrados Silvestres en México. 71-82 p.
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan-Pérez, J. I., Pineda-Jaimes, N. B., Cadena-Vargas, E. G., Bravo-Peña, L. C. y Sánchez-López, M. 2015. Coverage/land use changes in a portion of the Mountainous Mexican Transition Zone, Madera y Bosques, 21(1): 93-112 p.
- Cárdenas-Calvachi, G. L., y Sánchez-Ortiz, I. A. 2013. Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. Universidad y Salud, 15(1): 72-88 p.
- Carmona-Zamora, T. 2021. Comparación de la dieta y atributos morfológicos de la rana *Rheohyla miotympanum* en bosque de niebla y en pastizal para ganado en el centro de Veracruz. Tesis de Licenciatura. Mexico. Universidad Veracruzana. 1-33 p.
- Chará, J. 2004. Manual de evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Fundación CIPAV. 2 ed. Cali, Colombia.
- Chará, J., Pedraza, O. G. y Giraldo, S. L. 2008. Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Corredores ribereños como herramienta de protección de ambientes acuáticos en zonas ganaderas, Cap. 5. CIPAV, Cali, Colombia. 111-129 p.
- COEDE. 2007. Consejo Estatal de Ecología del Estado de Hidalgo. Hoja descriptiva del Parque Nacional El Chico. Disponible en: www.coedehgo.gob.mx
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2005. Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional El Chico. CONANP. 236 p.

- Cordero-Lezama, A. Y., Ramírez-Bautista, A., Martínez-Hernández, S., y Octavio-Aguilar, P. 2021. *Ambystoma*, un fascinante género de anfibios en México. *Contactos, Revista De Educación En Ciencias E Ingeniería*, (120): 5-18 p.
- Collins, J. P. y Holomuzki, J. R. 1984. Intraspecific variation in diet within and between trophic morphs in larval tiger salamanders (*Ambystoma tigrinum nebulosum*). *Can. J. Zool.* (62):168-174 p.
- Cruz-Hernández, V. M. 2013. El ajolote (*Ambystoma velasci*) en el Ejido de San Miguel Allende, Tecocomulco, Hidalgo: etnozoología y datos de su biología alimentaria. (Licenciatura). México. Universidad Nacional Autónoma de México. 3-73 p.
- Cruz-Pérez, M. S., Rangel-Hernández, J. A., Roldan-Padrón, O., Soto-Alonso, G. A., Padilla-García, U. y García-Vázquez, U.O. 2009. Presencia de malformaciones en *Ambystoma velasci* en Alameda del Rincón, Querétaro, México. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana* (17): 92-96 p.
- Declerck, S., De Bie, T., Ercken, D., Hampel, H., Schrijvers, S., Van Wichelen, J. y Martens, K. 2006. Ecological characteristics of small farmland ponds: associations with land use practices at multiple spatial scales. *Biological conservation*, 131(4): 523-532 p.
- Diario Oficial de la Federación. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010. Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestre. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Marzo. México.
- Duellman, W. E. y Trueb, L. 1986. *Biology of the Amphibians*. London. 670 p.
- Echegaray, J. y Hernando, A. 2003. Amenazas de los anfibios. *Biodiversidad*, (64): 50–52 p.

ESRI, 2021. ArcGis Pro Desktop 2.7: Release 10. Enviromental Systems Research Institute. Redlands, C. A., U. S. A.

Frost, D. R. 2023. Ambystomatidae. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.2. Nueva York, EEUU: Museo Americano de Historia Natural. Consultado el 20 de diciembre de 2023, disponible en <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/>

Galindo, C., Franco, S., Flores, M., Lazcano, C., Franco, S. y Cortés, R. 1988. Plan de Manejo Parque Nacional El Chico. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Pachuca, Hidalgo. 55 p.

Gallina, M., González, R., Moutal, R. y Tello, G. 1974. Bases para la Reestructuración del Parque “El Chico” Hidalgo, México. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F. 114 p.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. México. 166 p.

Giorgi, A. D. N. y Tiraboschi, B. 1999. Evaluación experimental del efecto de dos grupos de macroinvertebrados (Anfípodos y gasterópodos) sobre algas epifitas. Ecol. Austral, (9): 35-44 p.

Goudie, A. 2013. The human impact on the natural environment. Past, present and future. Septima edition. Wiley Blackwell and sons. Oxford, UK. 424 p.

Grusser-Cornehls, U. y Himstedt, W. 1976. The urodele visual system. In K. V. Fite (Ed.), The amphibian visual system: a multidisciplinary approach. Academic Press, New York. 203-266 p.

Halffter, G. (2017). La zona de transición mexicana y la mega diversidad de México: Del marco histórico a la riqueza actual. Dugesiana, 24(2): 2-15 p.

- Henle, K., Dubois, A., y Vershinin, V. 2017. Commented glossary, terminology and synonymies of anomalies in natural populations of amphibians. *Mertensiella*, (25): 9-48 p.
- Heredia-Bobadilla R. L., Monroy-Vilchis, O., Zarco-González, M.M., Martínez-Gómez, D., Mendoza-Martínez, G.D. y 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): 873-883 p.
- Hernández-Flores, S. D., y Rojas-Martínez, A. E. 2010. Lista actualizada y estado de conservación de los mamíferos del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. *Acta zoológica mexicana*, 26(3): 563-583 p.
- Hernandez-Guzman, R., Escalera-Vazquez, L. H., y Suazo-Ortuno, I. 2019. Predicting *Ambystoma ordinarium* distribution under different climate scenarios in central Mexico. *Herpetological Journal*, 29 (2): 71-78 p.
- Himstedt, W. 1967. Experimentelle Analyse der optischen Sinnesleistungen im Beutefangverhalten der einheimischen Urodelen. *Zool. Jahrb. Abt. Allg. Zool. Physiol. Tiere* (73): 281-320 p.
- INEGI. 1992. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Síntesis geográfica del Estado de Hidalgo. Aguascalientes, Ags. México. 134 p.
- INEGI. 2002. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Singuilucan Estado de Hidalgo. Cuaderno estadístico municipal. Edición 2002. México.
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2020. *Ambystoma velasci*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T62130287A53974804. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20202.RLTS.T62130287A53974804>.

- Jiménez-Sierra, C. L., Sosa-Ramírez, J., Cortés-Calva, P., Solís-Cámara, A. B., Íñiguez- Dávalos, L. I., y Ortega-Rubio, A. 2014. México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas. *Investigación y ciencia-Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (60): 16-22 p.
- Kupfer, A. 2009. Sexual size dimorphism in caecilian amphibians: analysis, review and directions for future research. *Zoology*, 112(5): 362-369 p.
- Lajmanovich, R. C., Peltzer, P. M., Attademo, A. M., Cabagna-Zenklusen, M. C., y Junges, C. M. 2012. Los agroquímicos y su impacto en los anfibios: un dilema de difícil solución. *Química Viva*, 11(3): 184-198 p.
- Lemos-Espinal, J. A. y Smith H. M. 2009. Anfibios y reptiles del estado de Chihuahua. CONABIO, Ciudad de México, México. 613 p.
- Lindquist, S. B. y Bachmann, M. D. (1980). Feeding Behavior of the Tiger Salamander, *Ambystoma tigrinum*. *Herpetologica*. 36 (2): 144-158 p.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford, Reino Unido: Blackwell Publishing, Oxford. 272 p.
- Marco, A. (2002). Contaminación global por nitrógeno y declive de anfibios. *Revista española de herpetología*, (16): 5-17.
- Morales-García, A. D., Morales-García, J. J., Manrique, A. L., y García-Díaz, A. M. 2021. Registros de *Ambystoma Velasci* (Caudata: Ambystomatidae) en ambientes antropizados en Pachuca, Hidalgo, y alrededores. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 4(2): 173-176 p.
- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad: M&T Manuales y Tesis SEA: Sociedad Entomológica Aragonesa*. España. 17-65 p.

Morrone, J. J. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista mexicana de biodiversidad*, (90): 2-61 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales, Compendio de datos. 3-64 p.

Pacheco-Ávila, J. P., Pat-Canul, R. y Cabrera-Sansores, A. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6 (3): 73-81 p.

Palacios-Martínez, J., Caballero-Pérez, J., Espinal-Centeno, A., Marquez-Chavoya, G., Lomelí, H., Salas-Vidal, E. y Cruz-Ramírez, A. 2020. Multi-organ transcriptomic landscape of *Ambystoma velasci* metamorphosis. *Developmental Biology*, 466 (1-2): 22-35 p.

Parente, L. Mesquita, V. Miziara, F. Baumann, L. y Ferreira, L. 2019. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. *Remote Sensing of Environment*. 232 p.

Parra-Olea, G., Flores-Villela, O. y Mendoza-Almeralla, C. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, (85): 460-466 p.

Ramírez-Bautista A., Hernández-Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., Berriozábal-Islas, C. S., Lara-Tufiño, D., Goyenechea, I. y Castillo-Cerón, J. 2014. Los anfibios y reptiles del Estado de Hidalgo, México: Diversidad, Biogeografía y Conservación. *Sociedad Herpetológica Mexicana*, A. C. 385 p.

Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Mendoza Quijano, F., Cruz Elizalde, R., Stephenson, B. P., Vite Silva, V. y Leyte-Manrique, A. 2010. Lista anotada de los anfibios y reptiles del Estado de Hidalgo, México. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*. 104 p.

- Ramírez-Bautista, A., Torres-Hernández, L. A., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas, C., Hernández-Salinas, U., Wilson, L. D. y Mata-Silva, V. 2023. An updated list of the Mexican herpetofauna: with a summary of historical and contemporary studies. *ZooKeys*, (1166): 287 p.
- Reinhard, S., Renner, S. y Kupfer, A. 2014. Sexual dimorphism and age of Mediterranean salamanders. *Zoology*, 118 (2015): 19-26 p.
- Robles-Mendoza, C., García-Basilio, C., Cram-Heydrich, S., Hernández-Quiroz, M. y Vanegas-Pérez, C. 2009 Organophosphorus pesticides effect on early stages of the axolotl *Ambystoma mexicanum* (Amphibia: Caudata). *Chemosphere*, 74, (5) 703-10 p.
- Rodríguez-Amador, R., Monks, S., y Pulido-Flores, G. 2013. Primer reporte helmintológico de *Ambystoma velasci* Dugés, 1888 de Lago de Tecocomulco, Hidalgo, México. *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas*, (2): 113-120 p.
- Romero, F., & Pineda, N. M. 2007. Batimetría del lago de Yojoa. *Revista Técnico-Científica Tatascan*, 19 (2): 1-12 p.
- Rosas-Espinoza, V. C., García-Mata, E. S., Santiago-Pérez, A. L. y Villarreal-Méndez, J. 2014. Herpetofauna asociada a madrigueras de la tuza *Pappogeomys bulleri* en el bosque templado de sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85 (1): 328-331 p.
- Sánchez-Manjarrez, D. 2017. Dimorfismo sexual en *Ambystoma rivulare* (Caudata: Ambystomatidae). Tesis de Licenciatura. México. Universidad Autónoma del Estado de México. 10-24 p.
- Sánchez-Manjarrez, D. 2020. Variación en la dieta e incidencia de deformidades de *Ambystoma rivulare* (Caudata: Ambystomatidae), una especie microendémica y amenazada en México. Tesis de Maestría. México. Universidad Autónoma del Estado de México. 19-42 p.

- Servín-Zamora, E. 2011. Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina veterinaria aplicada al ajolote (*Ambystoma mexicanum*) de Xochimilco en el zoológico de Chapultepec. Tesis de licenciatura. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 68-70 p.
- Shine, R. 1979. Sexual selection and sexual dimorphism in the Amphibia. *Copeia* 1979: 297-306 p.
- Smith, H.M., y E.H. Taylor. 1966. Herpetology of México. Annotated checklist and keys to amphibians and reptiles. A reprint of Bulletins 187, 194 and 199 of the United States National Museum with a list of subsequent taxonomic innovation. Eric. Lundberg. Asthon Maryland, U.S.A. 610 p.
- Solé, M., Beckmann, O., Pelz, B., Kwet, A., and Engels, W. (2005). Stomach-flushing for diet analysis in anurans: an improved protocol evaluated in a case study in Araucaria forests, southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Enviroment*, (40): 8-23 p.
- Soto-Rojas, C., Suazo-Ortuño, I., Montoya-Laos, J. A. y Alvaro-Díaz, J. 2017. Habitat quality affects the incidence of morphological abnormalities in the endangered salamander *Ambystoma ordinarium*. *PLOS ONE* 12:1-15. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183573>
- Sunny, A., Monroy-Vilchis, O., Fajardo, V. y Aguilera-Reyes, U. 2014. Genetic diversity and structure of an endemic and critically endangered stream river salamander (Caudata: *Ambystoma leorae*) in Mexico. *Conservation Genetics*, (1): 49-59 p.
- Villavicencio, M. A., Perez-Escandon, B. A., Marmolejo-Santillán, Y. y Pérez-Moreno, E. 1992. Programa de Manejo del Parque Nacional El Chico. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 422 p.
- Vinatea, L. 2002. Principios químicos de calidad del agua en acuicultura: una revision para peces y camarones. UAM- Xochimilco, México. 18-42 p.

- Vite-Silva, V.D., Ramírez-Pérez, A., Hernández-Jiménez, J. R. y Ramírez-Bautista, A. 2009. Cannibalism in Plateau Tiger Salamander (*Ambystoma velasci*) from Presa La Estanzuela, Hidalgo, México. Bulletin of the Maryland Herpetological Society, (45): 1 p.
- Vitt, L. J. y Caldwell, J. P. 2014. Herpetology: an Introductory Biology of Amphibians and Reptiles. Academic Press. Londres-Massachusetts-San Diego. 757 p.
- Wyman, R. L. 1990. What's happening to the amphibians?. Conservation Biology (4): 350-352 p.
- Zocche, J. J., Da Silva, L. A., Damiani, A. P., Mendonca, R. Á., Peres, P. B., Dos Santos, C. E. I., y Pinho, R. A. (2014). Heavy-metal content and oxidative damage in *Hypsiboas faber*: the impact of coal-mining pollutants on amphibians. Archives of environmental contamination and toxicology (66): 69-77 p.