

Cambios en la distribución de *Phrynosoma orbiculare* en Hidalgo Changes in the distribution of *Phrynosoma orbiculare* in Hidalgo

A. Desentis-Hernández ^a, I. Goyenechea Mayer-Goyenechea ^{a,*}

^a Laboratorio de Sistemática molecular, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo s/n, Ciudad del Conocimiento, Col. Carboneras, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Resumen

La transformación de los ecosistemas provocada por los humanos está afectando especies como *Phrynosoma orbiculare*. Por ende, el objetivo de esta investigación es analizar los cambios en su distribución en el estado de Hidalgo, para conocer los efectos de la antropización en sus poblaciones entre 1980 y el 2022. Para realizarlo se descargaron los registros de plataformas de distribución de coordenadas, con la finalidad de utilizarlos en ArcGis 10.8, en el programa de modelado de nicho MAXENT 3.4.4 y plataformas climatológicas, con el propósito de comparar los cambios de uso de suelo y el clima. Para complementar y visualizar la transformación en las zonas con mayor número de registros, se extrajeron imágenes satelitales del programa Google Earth Pro. De tal modo se observó que no ha habido un cambio drástico en la distribución de *Phrynosoma orbiculare*, debido a que es una especie con una capacidad de resistencia amplia, sin embargo, no quiere decir que viva en las condiciones adecuadas.

Palabras Clave: Antropización; distribución; ArcGis; modelado de nicho; imágenes satelitales.

Abstract

The transformation of ecosystems caused by humans is affecting species such as *Phrynosoma orbiculare*. Therefore, the objective of this research is to analyse the changes in its distribution in the state of Hidalgo, in order to know the effects of anthropization on its populations between 1980 and 2022. To do this, the records were downloaded from coordinate distribution platforms, in order to use them in ArcGis 10.8, in the MAXENT 3.4.4 niche modelling program and climatological platforms, with the purpose of comparing changes in land use and climate. To complement and visualize the transformation in the areas with the highest number of records, satellite images were extracted from the Google Earth Pro program. Thus, it was observed that there has not been a drastic change in the distribution of *Phrynosoma orbiculare*, due to the fact that it is a species with a wide resistance capacity, however, it does not mean that it lives in adequate conditions.

Keywords: Anthropization; distribution; ArcGis; niche modelling; satellite images.

1. Introducción

Como bien se sabe, México es un país que cuenta con una vasta diversidad de especies de reptiles que se encuentran distribuidos a lo largo de todo el territorio, pero desafortunadamente existe una amplia variedad de causas que han afectado de forma considerable los ecosistemas donde habitan este tipo de organismos, provocando que el número de individuos se reduzca o en algunos casos se extinga.

De acuerdo con Montiel, *et al.* (2016) la superficie del territorio del estado Hidalgo es de 20 905 km², lo que equivale al 1.1% de todo el país, esto lo convierte en uno de los estados más chicos de la república. Se compensa con su ubicación geográfica que está en el centro de la nación, además de tener una compleja historia geológica, lo que ha conformado

múltiples tipos de climas y vegetación que deriva en una alta variedad de grupos biológicos. El conjunto de estas características hace del estado de Hidalgo un área de interés para la elaboración de distintos estudios e investigaciones científicas.

Según Manríquez, *et al.* (2021), la Sierra Madre Oriental, la Faja Volcánica Transmexicana, el Altiplano Mexicano y el Golfo de México, son las cuatro provincias biogeográficas que confluyen en el estado de Hidalgo y sus seis ecorregiones son las de Bosques de Pino Encino de la Sierra Madre Oriental, Bosques de montaña de Veracruz, Matorral Central Mexicano, Faja Volcánica Transmexicana, Bosques Húmedos de Veracruz y Matorral de la Meseta Central. Todas estas particularidades propician una enorme diversidad de especies de reptiles o también nombrados como saurópsidos no aves,

*Autor para la correspondencia: ireneg@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: de337216@uaeh.edu.mx (Andros Desentis Hernández), ireneg@uaeh.edu.mx (Irene Goyenechea Mayer Goyenechea).

Historial del manuscrito: recibido el 31/01/2024, última versión-revisada recibida el 09/04/2024, aceptado el 15/04/2024, en línea (postprint) desde el 22/04/2024, publicado el DD/MM/AAAA. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v12i24.12362>



esto en comparación con otros estados que poseen áreas de mayores dimensiones, tal como es el caso del estado de Chihuahua con un total de 125 especies y el de Durango con 112.

Se han realizado en las últimas dos décadas, múltiples estudios para poder estimar el número de especies de reptiles que el estado posee, y conforme se van actualizando las investigaciones, el número también va cambiando. En el año 2010 se registraron un total de 119 especies de reptiles, (Ramírez, *et al.*, 2010); posteriormente en el 2014 se registró un incremento en el número de especies a 130 (Ramírez *et al.*, 2014). Algunos trabajos posteriores de investigación señalaron que hay 140 especies en el estado de Hidalgo en 2021 (CONABIO, 2021). Conocer la cantidad de especies de reptiles que existen en el estado permite identificar los posibles motivos por los que estos números pueden cambiar, ya sea por pérdida de la biodiversidad, errores de muestreo, efectos de antropización o por identificación de nuevas especies.

Mientras tanto, de acuerdo con otros estudios, tal como el de Manríquez, *et al.*, (2021) sostienen que el número total de especies de saurópsidos no aves en la entidad federativa es de 130. Donde los escamados cuentan con 126 especies, de las que 42 son lagartijas y dentro de estas la familia más diversa es Phrynosomatidae con 14 especies, conocidas comúnmente como lagartijas espinosas.

En este estudio, se trabajó con una especie de lagartija del género *Phrynosoma*, la cual cuenta con un total de 17 especies en todo el mundo, desde el sur de Canadá hasta el sur de México, donde nuestro país cuenta con 16 de ellas y 6 son endémicas (Raya, 2013). *Phrynosoma orbiculare*, es la única especie de este género que se encuentra en el estado de Hidalgo. Según Méndez, *et al.* (2003) esta lagartija puede alcanzar un tamaño de 7.82 a 8.98 cm del hocico a la cloaca, la longitud promedio de la cola es de 4.25 cm, poseen 13 poros femorales en cada pierna y presenta escamas granulares en la superficie dorsal de su cuerpo, cola, región femoral y tibial. Esta especie, en la zona dorsal de su cuerpo, presenta una coloración que puede ser grisácea o pardo oscuro, en la región del occipucio se pueden distinguir un par de manchas negras y en medio se puede percibir manchas claras algo difusas. Mientras que en la región ventral del animal es de color amarillo claro, con múltiples puntos oscuros, escamas suaves y manchas negras en la región pectoral-abdominal. Las escamas dorsales son de un tamaño proporcionalmente grande y tienen forma de espina, mientras que las escamas laterales son de cuerpo aplanado dorsoventralmente y poseen una fila de escamas continuas en forma de espinas en la parte lateral del cuerpo. Una característica muy distintiva de esta lagartija, es su significativo cráneo, el cual tiene dos cuernos occipitales cortos, tres cuernos temporales en cada lado.

Se ha observado que tiene hábitos nocturnos y que debido a que requiere del ácido fórmico para poder vivir, su alimentación es a base de hormigas (Robledo, *et al.*, 2017).

Esta especie se distribuye en gran parte de la república mexicana y aunque hoy en día no se conoce el número de poblaciones actuales, registros y datos no publicados indican

que se encuentra en los estados de Chihuahua, Colima, Durango, Nuevo León, Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Querétaro, Michoacán, Morelos, Puebla, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas, aunque, presentan densidades poblacionales bajas, (Naturalista, 2022). Los tipos de vegetación en donde generalmente se llega a encontrar, son en ecosistemas boscosos, en lugares donde mayormente hay presencia de bosque de pino-encino, en áreas que cuentan con matorrales semiáridos y en zonas donde abundan plantas arbustivas, pastos, yucas y herbáceas (Suárez *et al.*, 2018).

Dicha lagartija, tiene una relevancia significativa, debido a que es una de las pocas que pertenecen a este género que habita en zonas desérticas y templadas con modo reproductor vivíparo (Hernández, 2018). Además, que hoy en día, debido al constante enfrentamiento que está sufriendo contra múltiples amenazas que afectan sus poblaciones, como la destrucción y fragmentación de su hábitat, por factores antropogénicos, más aparte por la depredación de aves, especies invasoras, como mamíferos domésticos y su extracción con el fin obtener un beneficio económico por su venta como mascota ha provocado que *Phrynosoma orbiculare* se encuentre catalogada como especie amenazada en la NOM-059-ECOL-2001 (Méndez *et al.*, 2003).

2. Antecedentes

2.1 Antropización

La república mexicana se caracteriza por tener importantes comunidades de anfibios y reptiles de ambientes templados, por lo que en estas regiones han sido decretadas diversas áreas naturales protegidas. Pero debido a la perturbación del ambiente por factores de antropización, ha ocasionado una disminución importante en la riqueza de especies y en la densidad de sus poblaciones (Cruz *et al.*, 2018).

En el caso de los grupos de anfibios y reptiles en el estado de Hidalgo, se han visto principalmente afectados por actividades antropicas como la fragmentación, la contaminación, el cambio de uso de suelo, la sobreexplotación de los recursos, el tráfico y la caza ilegal, etc. Por ello, para poder implementar programas de manejo y conservación de estas clases de animales se deben mostrar los principales causantes que han afectado el mantenimiento de estas especies en el estado (Cruz, 2017).

Se debe tomar en cuenta que no todas las especies de anfibios y reptiles son afectadas de la misma forma por la antropización y el cambio climático, ya que unas pueden ser más perjudicadas que otras, esto va a depender si las especies que se encuentran expuestas a este tipo de circunstancias, son generalistas o especialistas. Esto se debe a que las generalistas tienen mayor capacidad de adaptación, por ello es que se han encontrado múltiples especies en distintas áreas de la zona metropolitana de Pachuca. Mientras que, en el caso de las especialistas, se ven severamente afectadas por la modificación de sus ambientes naturales, a tal grado de que se extingan las poblaciones de esas zonas, debido a que sus necesidades para poder vivir son específicas. En el caso de

Phrynosoma orbiculare es una especie generalista en su hábitat, pero especialista en su alimentación, lo cual le brinda cierto nivel de adaptación en comparación de otras lagartijas (Ramírez et al., 2023).

2.2 *Phrynosoma orbiculare*

Los *Phrynosoma* son un grupo especializado morfológicamente para comer hormigas. Por lo que las especies que conforman este género de lagartijas tienen características morfológicas muy particulares de la cabeza, mandíbula y dientes, de manera que se piensa que esto tiene importancia en la captura y procesamiento de presas. Si bien este género tiene una tendencia a tener una alimentación especializada, también puede llegar a incluir en su dieta de otro tipo de alimentos, de tal forma que es un género de saurópsidos que se distribuyen ampliamente en el territorio mexicano (Meyers, et al., 2006).

En el caso de la especie *Phrynosoma orbiculare* no es la excepción, ya que análisis de las poblaciones en la parte centro de México han registrado 13 categorías de presa dentro de las cuales, el orden Hymenoptera resultó ser la categoría con mayor abundancia con un 91.2%, seguido de Coleoptera con un 3.4% e Isopoda. El resto de las categorías de presa estuvieron por debajo del 1%. Lo que indica, tal como se mencionó anteriormente, que la principal dieta de estos animales está muy relacionada con el consumo de hormigas, aunque puede llegar a haber gran incidencia en alimentarse con coleópteros (Rojas, 2018). En parte, debido a esto es que la frecuencia de encontrar estos ejemplares en zonas que presentan cierto grado de antropización ha sido común en cierto periodo de tiempo.

El que las poblaciones de esta especie tengan a disposición su fuente de alimentación principal y el que puedan complementar su dieta, dependiendo del área en donde se encuentren, va a provocar que se desarrollen mejor en algunos lugares que en otros. Así que conocer la edad y el peso corporal de los individuos de una población es de gran utilidad cuando se está estudiando una especie, para conocer en donde se está cumpliendo con las condiciones ambientales más óptimas para el correcto desarrollo. Para esto se deben elaborar líneas de regresión entre las tasas de crecimiento por sexos, usando la longitud hocico cloaca y también así determinar las diferencias entre las tasas de crecimiento por categorías de edad y estaciones del año. Entre machos y hembras hay igualdad en el crecimiento, pero en el caso de las crías y los juveniles crecen con mayor velocidad entre las estaciones de verano y otoño (Hernández, 2018).

Múltiples estudios se han dedicado a conocer la historia de vida de esta especie para poder encontrar todos los posibles motivos por los que la masa de una camada puede variar, por ello es de gran importancia conocer la información más relevante, debido a la influencia que puede tener. Tal como se menciona en el trabajo de Suárez et al. (2018), esta lagartija es de forrajeo pasivo, endémica de México, su temporada de reproducción es durante otoño e invierno, habita en bosques de pino-encino y áreas de matorral semiárido, en altitudes que oscilan entre 1,500 y 3,400 msnm. Su extensa distribución geográfica va

desde Chihuahua hasta el sur de Puebla y Guerrero, así como del sur de Nuevo León al Eje Neovolcánico Transversal y la Meseta Central Mexicana, esto puede promover variación en características reproductivas, por lo que se debe analizar las causas de dichas variaciones, en las que pueden influir múltiples factores como alimentación, distribución, grado de perturbación de su hábitat, tamaño de los progenitores, etc.

Un factor que siempre se debe contemplar es el cambio climático, el cual en gran parte ha sido acelerado por los seres humanos y va avanzando a un ritmo alarmante, provocando que la temperatura vaya aumentando, ocasionando que múltiples especies tengan que desplazarse del lugar donde habitan para poder encontrar en otra parte las condiciones más adecuadas para ellos. Pero ante esta situación se ha comprobado que algunas especies tienen la capacidad de que su fisiología térmica responda a los cambios interanuales en el ambiente térmico, por ello se examinó en una población de *Phrynosoma orbiculare*, como los rasgos térmicos pueden cambiar a lo largo de los años, obteniendo como resultado que dichos rasgos térmicos responden rápidamente a los cambios en el entorno local. Los fenotipos térmicos cambian en respuesta a las fluctuaciones ambientales. En el estudio de Domínguez, et al., (2021) cuando realizan la comparación de sus muestreos en el 2018 y 2019 observan un incremento a la tolerancia al calor a nivel de la población. Los autores indican que los cambios fisiológicos se pueden observar en periodos de tiempos cortos y dichos cambios reflejan una combinación de respuestas evolutivas y de aclimatación.

Al hablar de aclimatación y adaptación, la lagartija *Phrynosoma orbiculare* ha logrado hacerlo en distintas áreas, ya que se vio obligada debido al surgimiento de barreras que fragmentaron la distribución de la especie ancestral, por lo que han descrito un total de seis subespecies las cuales se encuentran distribuidas desde el norte de nuestro país, hasta el sureste de la planicie Mexicana, Las principales variaciones se encuentran en las subespecies *P. o. orientale*, *P. o. durangoensis* y *P. o. boucardi*. La principal diferencia se ubica en la región de la punta del hocico y de la corona de *P. o. orientale* que se distribuye en la Sierra Madre Oriental y *P. o. durangoensis* en la Sierra Madre Occidental, ambas se encuentran aisladas por la Meseta Central y su aislamiento empieza desde la vicarianza del Neógeno (Moreno et al., 2013).

3. Método

Se realizó una búsqueda exhaustiva de la distribución de la especie *Phrynosoma orbiculare* a partir del año de 1980 y posteriormente se rastrearon las zonas actuales donde esta lagartija se encuentra, para así poder llevar a cabo una comparación y demostrar a qué grado ha cambiado su distribución debido a causas antrópicas, específicamente en el estado de Hidalgo.

Para la recopilación de las áreas que abarcaba esta especie en 1980 y en la actualidad, se hizo uso de distintas plataformas de distribución de coordenadas de especies, como iNaturalist (iNaturalist, 2023), Global Biodiversity Information Facility (GBIF.org, 2001), el geoportal del Sistema Nacional de

Información sobre Biodiversidad (SNIB) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2022) y catálogos de colecciones de reptiles de la región donde se llevó a cabo la investigación, con el objetivo de elaborar una lista de los lugares donde el organismo estudiado habitaba antes y ahora, incluyendo las zonas potenciales de distribución, tomando en cuenta latitud y longitud, además de aquellos lugares que cuentan con las condiciones ambientales necesarias para el óptimo desarrollo de la especie.

La información obtenida se utilizó para generar una base de datos en el programa Excel sobre la distribución geográfica pasada y actual, la cual cumplió con la finalidad de poder elaborar 3 mapas utilizando el software de sistema de información geográfica ArcGis 10.8 (Esri, 2021). En dicho programa, las áreas donde se distribuye el *Phrynosoma orbiculare*, fueron colocadas en los mapas que se obtuvieron por medio del (SNIB) de la CONABIO en forma de capas digitales con el propósito de representar los factores de los ambientes en que se ubica la especie estudiada (Alcántara, 2014). Las capas seleccionadas para utilizarse en la realización de los mapas fueron la de climas de García & CONABIO (1988), uso del suelo y vegetación escala 1:250000 serie I (continuo nacional) de INEGI (1997) y uso del suelo y vegetación escala 1:250000 serie VII (continuo nacional) de INEGI (2021).

Se generó un cuarto mapa a través del programa Maxent versión 3.4.4 (Phillips *et al.*, 2023), debido a que este algoritmo tiene la capacidad de poder estimar hasta cierto grado el nicho ecológico de la especie con la que se trabajó y sobre todo porque únicamente utilizando la base de datos que se realizó en Excel y que se guardó en formato CSV, permitió conocer la distribución potencial en base al principio de máxima entropía (Rocha, 2018). Posteriormente, se generó un mapa con Maxent haciendo uso del programa ArcGis, donde se agregaron las coordenadas de cada registro de la especie con el fin de saber exactamente la ubicación de los distintos avistamientos. Para poder hacer uso del programa Maxent se necesitó apoyarse de la página web WorldClim (WorldClim.org, 2020), debido a que permite la extracción de distintas variables climáticas; en este caso las variables climáticas que se utilizaron fueron: Temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, las cuales establecieron los parámetros para indicar en el mapa generado las zonas donde hay una alta posibilidad de presencia y viceversa.

WorldClim descarga las variables climáticas en formato .tiff, por lo que es necesario transformarlas a formato raster para que puedan ser procesadas por el programa Maxent. Para poder llevar a cabo dicha conversión fue indispensable cargar cada variable en el programa ArcGis para así renombrarlas y guardarlas en el formato correspondiente.

A través del sitio web de información climatológica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y de los compendios de información geográfica municipal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se consultaron las características más sobresalientes de las áreas con mayor concentración de registros de *Phrynosoma orbiculare* con el

fin de conocer cómo son las condiciones climáticas en las que se ha encontrado esta especie más comúnmente.

Para poder observar con claridad cómo es que han cambiado las zonas donde se ha encontrado un mayor número de registros de la especie durante el periodo de tiempo estudiado, se hizo uso del programa Google Earth Pro (Google LLC, 2023) donde se descargó 8 imágenes satelitales (4 de 1984 y el resto del 2020) para visualizar las zonas con vegetación del estado de Hidalgo y de los 3 municipios con más cantidad de registros.

Se realizó la comparación de los mapas con las zonas que poseen la cifra más alta de registros para poder conocer cómo ha cambiado la distribución de esta especie, si es el caso, además de saber cómo se han conservado o transformado las condiciones ambientales de los lugares donde se encuentran y a las cuales se han tenido que adaptar.

4. Resultados

Se obtuvieron un total de 256 registros. De los cuales 7 pertenecen a la colección herpetológica nacional del Instituto de Biología, 20 del sitio web GBIF, 75 del sitio web Naturalista y 154 del (SNIB) de la CONABIO. Con dicha información se elaboró una base de datos en Excel. El municipio que presentó el número más alto de estos es El Chico, el cual tiene un total de 32, posteriormente le sigue el municipio de Pachuca de Soto con 22 y Singuilucan con 15, siendo estas las 3 localidades más numerosas de un total de 57 sitios.

Los resultados muestran que en el período 1980-2000 el tipo de suelo y vegetación que contaba con las condiciones más favorables para esta especie eran el que se utilizaba para agricultura de temporal anual, ya que ahí fue donde hubo un mayor número de registros (fig. 1). Posteriormente le siguen el tipo de suelo que estaba conformado por matorral crasicaule con matorral subinerme, mientras que, en el caso del periodo actual (2001-2022), dicha especie se ubica en una mayor diversidad de suelos (fig. 2), esto debido a la cantidad significativa de registros extras que hay en comparación al periodo pasado. Sin embargo, en lo que coincidieron ambos mapas, es que también hubo una gran cantidad de registros en sitios donde el suelo se utiliza como zonas de agricultura de temporal anual, pero también hay una alta cantidad de estos en bosques de pino, encino y oyamel, lo cual en el mapa del primer periodo de tiempo casi no se puede apreciar. Lo más significativo es que en el periodo 2001-2022 si hay presencia de *Phrynosoma orbiculare* en asentamientos humanos, en grandes ciudades como Pachuca.

Esta especie se llegó a registrar una mayor cantidad de veces en lugares con un clima templado, semiárido, con una temperatura media anual de entre 12 y 18 °C, donde las lluvias de verano y el porcentaje de lluvia invernal era del 5% al 10.2% del total anual, al igual que en los territorios donde el clima en esa época era templado, subhúmedo, con una temperatura media anual entre 12 y 18 °C (fig. 3). En el mes más seco la precipitación era menor de 40 mm, las lluvias de verano poseían un índice de entre de humedad entre 43.2 y 55

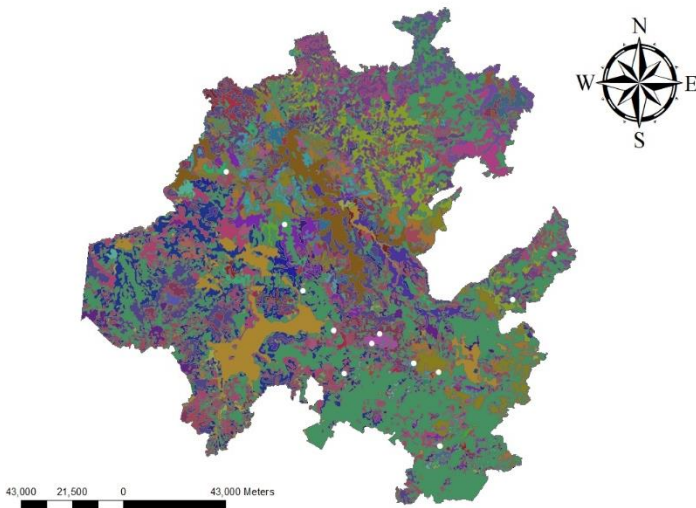


Figura 1: Mapa de distribución entre 1980 y 2000 con base en el uso de suelos y vegetación. Escala 1:250000, serie I (continuo nacional) de INEGI (1997).

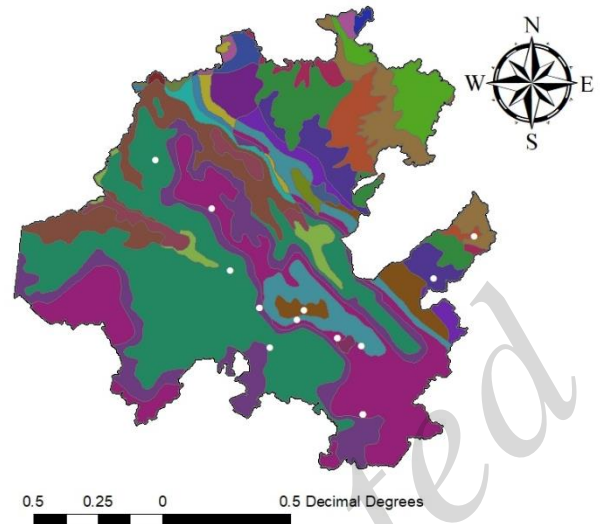


Figura 3: Mapa con respecto al clima entre 1980 y 2000. Obtenido con SNIB.

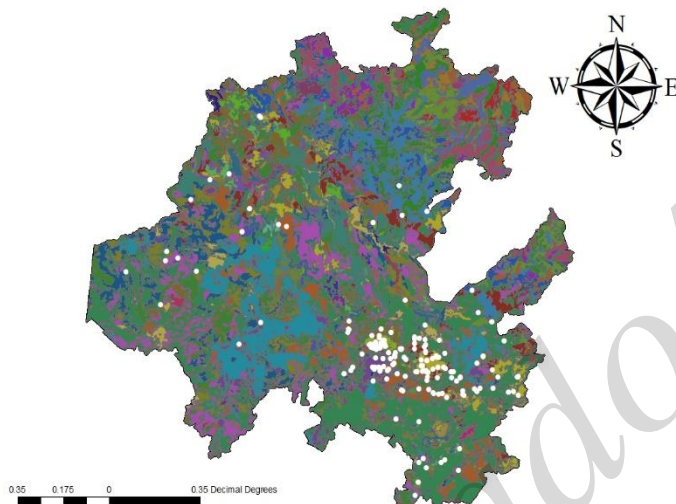


Figura 2: Mapa de distribución entre 2001 y 2022 con base en el uso de suelos y vegetación. Escala 1:250000, serie VII (continuo nacional) de INEGI (2021).

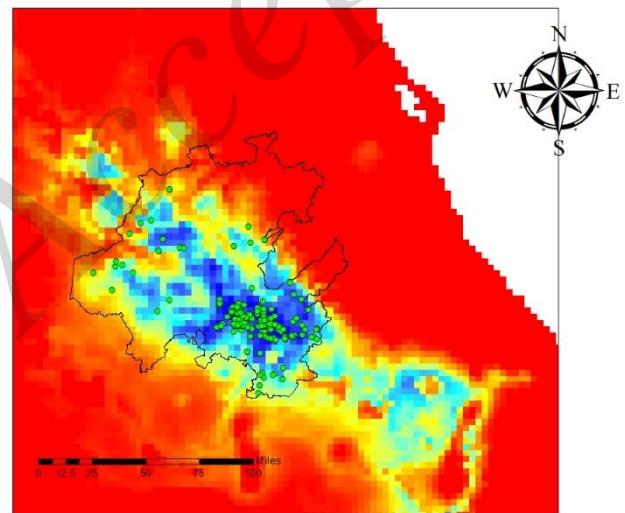


Figura 4: Mapa de distribución potencial de la especie, haciendo uso de variables climáticas descargadas del sitio web WorldClim del 2018.

mm, con un porcentaje de lluvias invernal del 5% al 10.2% del total anual. También hubo, aunque ligeramente en menor cantidad de registros, la presencia de ejemplares en lugares con un índice de precipitación mayor de 55 mm (fig. 3).

Las variables climáticas más recientes (2018) de WorldClim se utilizaron en el programa Maxent con el que se estimó el nicho ecológico de las especies y se generó el mapa de la distribución potencial (fig. 4) donde los colores azules más intensos son las áreas con mejores condiciones previstas, mientras que los colores naranjas muestran las zonas con escasas o nulas posibilidades de presencia.

La determinación del clima entre el 2001 y 2022, se estableció a través de plataformas meteorológicas, por lo que se obtuvo que el parque nacional El Chico, cuenta actualmente con las condiciones climatológicas más aptas (tabla 1), debido que fue en esta área en la que se obtuvo la mayor cantidad de registro de avistamientos de esta especie (32 en total); además, se ob-

serva la saturación de coordenadas en dicho territorio (fig. 2). Posteriormente las zonas con mayor cantidad de registros y las características climáticas más adecuadas (tabla 1) están conformadas por Pachuca de Soto con 22, Singuilucan con 15, Huasca de Ocampo con 9 y Mineral de la Reforma con 8.

Comparando ambos periodos de tiempo, se muestra el cambio que se le ha dado al uso de los suelos y las variaciones climáticas que presentan las zonas donde se ubicaba antes y en la actualidad esta especie. Las condiciones donde esta lagartija se encuentra con mayor presencia hoy en día son en los bosques, sobre todo de pino, encino y oyamel (fig.2), debido a que en estas áreas predomina el clima templado, con un rango de temperatura anual que puede rondar entre los 10 y 16 °C (tabla 1). Mientras que en el periodo de 1980-2000 se observa que las zonas donde se presenta la mayor cantidad de registros, es en las áreas donde el suelo era usado para la agricultura de

Tabla 1: Características climáticas de las localidades con mayor cantidad de registros de avistamientos de *Phrynosoma orbiculare* en el periodo 2001-2022

| Localidad | Características climáticas |
|-----------------------|---|
| Mineral del Chico | Predomina el clima templado subhúmedo, con lluvias en verano y semifrío. La temperatura media anual es de 21 °C y una mínima de -5 °C. La precipitación media anual es de 1479 milímetros, cayendo la mayor cantidad de lluvia en el mes de junio, con 240.7 milímetros y la menor en febrero, con 18.6 milímetros. (Aguilar, 2020) |
| Pachuca de Soto | Predomina el clima templado semiseco, templado subhúmedo y semifrío subhúmedo, con un rango de precipitación que va de los 400-900 mm (INEGI, 2010), con una temperatura promedio anual de 16°C. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 10°C a 25 °C y rara vez baja a menos de 3 °C o sube a más de 28 °C. (CONAGUA, 2023). |
| Singuilucan | El clima es templado subhúmedo, semifrío subhúmedo y semiseco templado con una precipitación pluvial de 400 a 1100 mm, con presencia de lluvias en verano. Tiene rango de temperatura de 10° a 16°C, durante el transcurso del año (INEGI, 2010), rara vez baja a menos de 3 °C o sube a más de 26 °C. (CONAGUA, 2023). |
| Huasca de Ocampo | El clima es semiseco templado, templado subhúmedo con lluvias en verano y semifrío subhúmedo con un rango de temperatura anual que va de 10 °C a 18 °C con una precipitación pluvial anual de 500 a 1100 milímetros. (INEGI, 2010). Rara vez baja a menos de 0 °C o sube a más de 29 °C. (CONAGUA, 2023). |
| Mineral de la Reforma | El clima es semiseco templado, templado subhúmedo y semifrío subhúmedo con presencia de lluvias en verano. El rango de la temperatura anual es de 10 °C a 16°C, con una precipitación de 400 a 700 mm (INEGI, 2010). |

temporada (fig. 1). El clima que presentaban estas zonas era templado y podía variar de húmedo a subhúmedo, mientras que la temperatura media anual estaba entre los 12 y 18 °C (fig. 3).

Las diferencias encontradas entre ambos periodos es que en el actual se encontró una mayor concentración de registros en zonas no perturbadas por la antropización, en comparación con el periodo anterior, debido a que todavía no se tenía el propósito de conocer más los lugares donde se contaba con la presencia de esta especie. Lo que también se encontró, es que hoy día si hay presencia de esta lagartija en zonas urbanas, a pesar de que no son las condiciones idóneas para su correcto desarrollo, pero tal como se puede observar en ambos mapas de uso de suelo y vegetación, ha habido un aumento en el manejo de este para agricultura, asentamientos humanos o muchas otras áreas han sido simplemente alteradas, lo que obliga a que las poblaciones de esta especie se tengan que adaptar y vivir cerca de las personas. En el caso del clima, se puede resaltar que los rangos de temperatura a los que están expuestos dichos reptiles son similares en ambos periodos, de manera que su amplia tolerancia y resistencia a la variación de estos le ha permitido mantenerse en los mismos territorios.

Es importante resaltar que la distribución de la especie no ha cambiado, se sigue presentando un alto porcentaje de agrupaciones de los puntos de las coordenadas en las mismas zonas, las cuales están conformada principalmente por los municipios de El Chico, Pachuca, Singuilucan y Huasca. Este resultado también se debe a que el número de registros que se tienen antes del año 2001 son muy escasos, por lo que para conocer exactamente las áreas donde se encontraba anteriormente, está algo limitada la información disponible. Con respecto al clima tampoco ha cambiado, *Phrynosoma orbiculare* se siguió manteniendo en los lugares templados húmedos o subhúmedos en ambos periodos.

Con el uso de las imágenes satelitales se puede observar que a través del transcurso de los años se han presentado algunos cambios en la cobertura vegetal y con los porcentajes extraídos de las capas de uso de suelo y vegetación se corrobora esta información

Tabla 2: Porcentaje de uso de suelo y vegetación en ambos periodos.

| Uso de suelo y vegetación | Periodo | |
|---------------------------|-----------|-----------|
| | 1980-2000 | 2001-2022 |
| Agricultura de temporal | 31.23% | 35.88% |
| Matorral crasicaule | 3.88% | 2% |
| Bosque de pino | 3.02% | 1.52% |
| Bosque de encino | 3.32% | 1.58% |
| Bosque de oyamel | 0.27% | 0.139% |
| Área urbana | 0.039% | 1.33% |

En el caso del municipio de Mineral del Chico es el que se ha conservado de mejor forma en comparación al resto (fig. 6, 7), mientras que en Pachuca de Soto (fig. 8, 9) y Singuilucan (fig. 10, 11) se puede percibir cómo es que las áreas verdes han disminuido su tamaño aumentando las manchas de la urbanización.

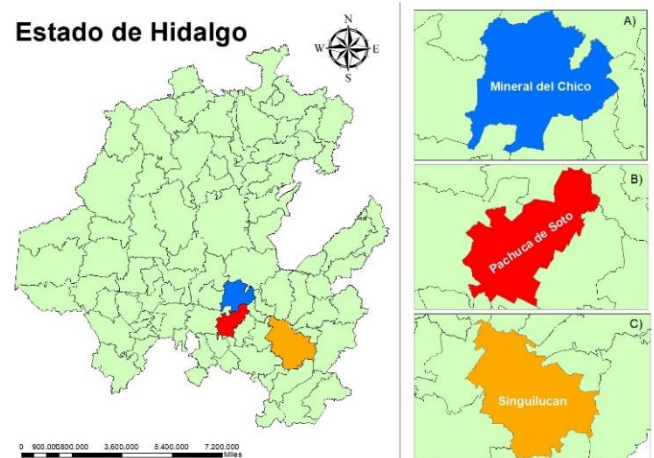


Figura 5: Mapa base del estado de Hidalgo con acercamiento a los 3 municipios con mayor número de registros. A) Mineral del Chico, B) Pachuca de Soto y C) Singuilucan.



Figura 6: Imagen satelital de Mineral del Chico 1984. Tomada de Google Earth.



Figura 7: Imagen satelital de Mineral del Chico 2020. Tomada de Google Earth.



Figura 8: Imagen satelital de Pachuca 1984. Tomada de Google Earth.



Figura 9: Imagen satelital de Pachuca 2020. Tomada de Google Earth.



Figura 10: Imagen satelital de Singuilucan 1984. Tomada de Google Earth.



Figura 11: Imagen satelital de Singuilucan 2020. Tomada de Google Earth.

5. Discusión

La antropización ha sido la causante de la modificación de las áreas de distribución de múltiples especies de flora y fauna, donde se ve incluida el *Phrynosoma orbiculare*, por lo que en los últimos 40 años se ha observado cambios en el uso de suelo y la cobertura de la vegetación en el estado de Hidalgo (Cruz et al., 2018), el cual se logró visualizar con la elaboración de mapas realizados a través de sistemas de información geográfica y con la comparación de imágenes satelitales de la región estudiada, para así identificar las zonas que han cambiado en el periodo de tiempo establecido y verificar si hoy en día esos lugares han sido transformados en zonas de agricultura, asentamientos humanos o por el lado contrario que se haya conservado algunas zonas como áreas naturales protegidas.

El uso de los mapas elaborados a través de sistemas de información geográfica y modelado de nicho, evidenció si en el periodo de tiempo estudiado ha habido cambios en la distribución de *Phrynosoma orbiculare*. Al realizar la comparación entre mapas, se presentó la dificultad de no contar con la cantidad esperada de registros de la especie en las figuras 1 y 3 que incluyen del año 1980 al 2000, a diferencia de las figuras 2 y 4 que abarca el ciclo 2001-2022. Pero, no obstante es la cantidad de datos necesaria para entender que no ha habido un cambio significativo en su distribución, ya que a pesar de la escasez de puntos (fig. 1 y 3), se observó que hubo una mayor aglomeración de registros en las mismas zonas en ambos periodos de tiempo analizados (fig. 2 y 4). Así mismo, cabe mencionar que el mapa de distribución potencial indica en donde posiblemente se puede encontrar esta especie, la cual en este caso mantiene su área de distribución, tal como se puede corroborar en la figura 4.

Esto se debe a que esta especie de lagartija cuenta con una gran capacidad de adaptación y aclimatación, ya que desde sus ancestros se vieron obligados a hacerlo en distintas áreas de la república, debido al surgimiento de barreras que fragmentaron su distribución, originando algunas subespecies (Moreno et al., 2013). Esto puede explicar porque *Phrynosoma orbiculare* se puede encontrar en una vasta cantidad de lugares, no solo de Hidalgo, sino de todo el país, desde el estado de Chihuahua hasta el sur de Puebla y Guerrero, al igual que desde el sur de Nuevo León hasta el Eje Neovolcánico transversal y la Meseta Central Mexicana (Suárez et al., 2018), pero además también en lugares que no cuentan con las condiciones más ideales para habitar, como en áreas que son empleadas para las actividades agrícolas o incluso en asentamientos humanos, tal como se observa en las figuras 1 y 2. Sin embargo para que se puedan mantener de forma óptima necesitan estar en territorios que estén conformados por bosques pino, encino, oyamel y en menor medida áreas de matorrales (fig. 2), con climas templados subhúmedos o semisecos templados (tabla 1).

La superficie forestal del estado de Hidalgo en el periodo de 1980-1999 era de 1,072,997 hectáreas, de las cuales 230,743 están compuestas por distintos tipos de bosques, dentro de los cuales está el pino y encino (Amador et al., 2003), ecosistemas que forman parte del hábitat natural de esta lagartija (Suárez et al., 2018) y posteriormente en el Inventario Forestal Nacional 2000 la superficie forestal del estado de Hidalgo es de

817,639.784 ha. (CONAFOR, 2008). Al comparar estos datos con los cambios presentados entre los porcentajes de ambos periodos estudiados, se confirma la evidente deforestación y modificación en el uso de suelo que se está presentando a nivel estatal. El bosque de pino redujo el 50.33% entre el primer y segundo periodo, el de encino el 47.59% y el de oyamel el 51.48%, mientras que las zonas destinadas a agricultura de temporal aumentaron su porcentaje, abarcando del 31.23% al 35.88% de la extensión del estado y las áreas urbanas pasaron de 0.039% a 1.33% (Tabla 2).

Haciendo uso de las imágenes satelitales de los municipios del estado de Hidalgo (fig. 6-11) que son los que presentaron una mayor cantidad de registros, se puede resaltar la evidente deforestación en algunos de estos, mientras que en otros se puede observar cómo se han conservado mejor con el paso del tiempo.

El municipio de Mineral del Chico es el que menos se ha visto afectado dentro de los 3 municipios, por eso mismo es el que posee el número más alto de registros. Esto es debido a que en el año de 1982 se decretó el Parque nacional El Chico como un área natural protegida (CONANP, 2017), esto ha contribuido en la preservación de la especie, debido a que tiene un menor porcentaje de antropización, aunado al aumento de naturalistas aficionados que documentan los registros de la especie en este municipio el cual es un lugar turístico.

En el caso de las imágenes satelitales de Pachuca de Soto, muestran un evidente aumento en la urbanización de la ciudad, por lo que esto trae como consecuencia una transformación del suelo y de los espacios en los que habitaban múltiples organismos biológicos. En total se están utilizando 10622.40 hectáreas para actividades antrópicas, lo cual es el equivalente al 68.99% del territorio, contra tan solo 4773.62 hectáreas que son empleadas y conservadas como áreas verdes, esto es el 31.01% de Pachuca (Solís et al., 2022).

El municipio de Singuilucan también mostró un cambio bastante alarmante, ya que se puede observar claramente como múltiples zonas verdes han desaparecido o en el caso de las áreas más grandes disminuyeron su tamaño, pero a pesar de ello, continúa siendo un municipio que conserva amplios terrenos con niveles de antropización nulos o ligeramente más bajos, en comparación a otros municipios como Pachuca, debido a que el suelo tiene una capa rica en materia orgánica y nutrientes, el 58.47% del territorio es usado para actividades agrícolas, mientras que las zonas urbanas solo ocupan el 0.48%. El resto del municipio está conformado por la vegetación del área, donde el 39% es de bosque y el 2.0% de pastizales (Ayuntamiento Singuilucan, 2016).

Los innegables cambios provocados por las distintas actividades humanas, ocasionan que diversas condiciones físicas del ambiente y ecológicas como la disponibilidad del alimento y los depredadores naturales, se van modificados, llegando a alterar el ciclo de vida de múltiples especies de reptiles, sin embargo no todas se ven afectadas de la misma manera, ya que las especies especialistas se podrían ver mayormente en desventaja que las generalistas, en cambio en el caso de *Phrynosoma orbiculare*, es una lagartija especialista en su alimentación, pero generalista en las condiciones que

necesita para poder desarrollarse (Ramírez *et al.*, 2023) por lo que tiene cierta capacidad de adaptación, tal y como se corroboró en el presente trabajo.

La alimentación de esta lagartija es especialista, debido a que necesita del ácido fórmico para poder vivir, por lo que incluso posee características morfológicas especializadas para el consumo de hormigas, sin embargo, se puede permitir ampliar su dieta (Meyers *et al.*, 2006). Dentro de esta puede incluir 13 distintas categorías de presas, como coleópteros e isópodos (Rojas, 2018). Esto es favorable para la especie, ya que, además de que se especializa en alimentarse de una familia de insectos bastante abundante en el estado, incluso en zonas que presentan cierto grado de antropización, también puede complementar dicha alimentación con otros órdenes de insectos bastantes abundantes hasta cierto punto.

Phrynosoma orbiculare es una especie que ha mostrado que tiene una capacidad de poder soportar ciertas variaciones en el ambiente en el que se encuentra, ya que los parámetros que necesita para llevar a cabo su ciclo de vida son un poco más amplios que otras especies de lagartijas. Un factor que le proporciona esta capacidad, es que poblaciones de esta especie pueden cambiar sus rangos térmicos, tal como aumentar su tolerancia al calor en periodos de tiempo relativamente cortos, debido a que su fisiología térmica posee la cualidad de responder a los cambios de temperatura interanuales del ambiente en el que se encuentran (Dominguez *et al.*, 2021), lo que ha resultado muy beneficioso hasta el momento por el evidente calentamiento global que se está viviendo en la actualidad y en el cual las actividades humanas lo han estado acelerando a una velocidad alarmante, por lo que se puede predecir que llegará el momento en que múltiples organismos biológicos, incluyendo la especie estudiada, no van a poder seguir con su proceso de aclimatación a estos cambios.

Al comparar la figura 1 y 2, se presenta un aumento significativo en el número de registros desde 1980 al año 2022. Sin embargo esto no quiere decir que ha habido un incremento en las poblaciones de *Phrynosoma orbiculare*, ni que se hayan desplazado de lugar, ya que en la figura 1 la mayor parte de registros se encontraron en zonas de agricultura de temporal, mientras que en la figura 2 se encontraron en distintos tipos de bosque, los cuales tienen las condiciones óptimas para el mejor desarrollo de esta lagartija, en comparación a áreas antropizadas como las que son utilizadas para cultivos, por lo que es algo incongruente que en territorios fragmentados, que han sufrido cambios en el uso de suelo, caza ilegal (Cruz, 2017), no se hayan visto afectados y al contrario, hayan aumentado sus poblaciones.

Esto indica que en el primer periodo de tiempo estudiado la mayor concentración de investigaciones, registros de flora y fauna se realizaron en lugares que tenían una importancia directa para el desarrollo de actividades antropogénicas. Con el paso de los años se ha generado cada vez un mayor interés en realizar más estudios y proyectos enfocados a conocer acerca de la diversidad biológica que posee el estado de Hidalgo y el aumento de naturalistas aficionados ha generado un incremento de información acerca de la especie.

6. Conclusiones

Se analizó los cambios en la distribución de *Phrynosoma orbiculare* en el estado de Hidalgo para conocer los efectos de la antropización en sus poblaciones. Para ello se comparó la distribución pasada a partir de 1980 hasta la más actual del año 2022 de esta especie de lagartija y lo que se observó fue que no ha habido alteraciones significativas, debido a que estos organismos son generalistas en tanto a las condiciones ambientales que necesitan para poder sobrevivir, por lo que a pesar de los cambios que han sufrido las zonas en donde se encuentran han logrado mantenerse, aunque no sean en las circunstancias más óptimas para la especie.

Se observaron los efectos de la antropización en *Phrynosoma orbiculare*, los cuales incluyeron la fragmentación, destrucción y transformación del hábitat en donde se encuentran para uso de tierras de cultivo, construcción de asentamientos humanos, la introducción de especies ferales, caza y venta ilegal de esta especie, además del fenómeno indiscutible del cambio climático. Sin embargo, se han adaptado a estas situaciones por lo que no se observan cambios drásticos en su distribución hasta el momento, aunado al incremento en la cantidad de registros disponibles para la especie. Si la antropización continua de esta forma, llegará el momento en que la capacidad de resiliencia de esta especie de lagartija no lo soporte más, por lo que es necesario elaborar las estrategias necesarias a implementar para proteger y conservar a la especie.

Agradecimientos

Agradecemos la revisión crítica al manuscrito de Alejandra Míguez Gutiérrez.

Referencias

- Aguilar D. (2020). Un parque biodiverso que debemos cuidar. Recuperado el 20 de julio de 2023 de la página web <http://www.mineraldelchico.com.mx/portfolio/un-parque-biodiverso-que-debemos-cuidar/>
- Alcántara, M. (2014). Variación Geográfica en *Phrynosoma orbiculare*: Relación entre Características Bióticas y Abióticas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México, 85 p.
- Amador, C. & Hernández, Z. (2003). La Explotación de los Recursos Forestales en el Estado de Hidalgo, 1980 - 1999. Recuperado de la página web https://www.uaeh.edu.mx/campus/icea/revista/revista_agosto.htm
- Ayuntamiento Singuilucan. (2016) Plan municipal de desarrollo. Recuperado el 20 de julio de 2023 de la página web http://planestataldedesarrollo.hidalgo.gob.mx/pdf/PMD/057-SINGUILUCAN/PMD_Singuilucan.pdf
- CONABIO & Gobierno del Estado de Hidalgo. (2021). La biodiversidad de Hidalgo. Estudio de Estado. Recuperado el 20 de julio de 2023 de la página https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/region/eeb/files/Hidalgo_resumen.pdf
- CONABIO (2022). Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Recuperado el 29 de noviembre de 2022 de la página <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAFOR (2008). Programa de Desarrollo Forestal del Estado de Hidalgo. Recuperado el 11 de Junio del 2023 de la página web <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/4202Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%20de%20Hidalgo.pdf>
- CONAGUA. (2023). Información Estadística Climatológica. Recuperado el 03 de septiembre del 2023 de la página web

- <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- CONANP (2017). Parque Nacional El Chico, belleza ecológica. Gobierno de México. Recuperado el 23 de Junio del 2023 de la página web <https://www.gob.mx/conanp/articulos/parque-nacional-el-chico-belleza-ecologica-114969#:~:text=El%206%20de%20julio%20de,rocosas%20espectaculare%20de%20la%20regi%C3%B3n.&text=El%20hermoso%20paisaje%20de%20este,de%20oyamel%2C%20pino%20y%20encino>
- Cruz, R., Ramírez, A., Aguillón, D., Magno, I., & Hernández, R. (2017). Principales amenazas para la biodiversidad y perspectivas para su manejo y conservación en el estado de Hidalgo: El caso de los anfibios y reptiles. En: Ramírez-Bautista, A., Sánchez-González, A. Sánchez-Rojas, G. & Cuevas-Cardona, C. (eds). Biodiversidad del Estado de Hidalgo, 2: 577-590 p. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Cruz, R., Ramírez, A., Hernández, U., Magno, I., García, A., & Pineda, R. (2018). Riqueza y diversidad de anfibios y reptiles en algunas Áreas Naturales Protegidas del Valle de México. En Ramírez-Bautista, A. & Pineda-López, R. (eds). Ecología y Conservación de Fauna en Ambientes Antropizados: 5-17p. REFAMA/ CONACYT/ UAQ.
- Domínguez, F., Bodensteiner, B., Pardo, A., Aguillón, D., Méndez, F., & Muñoz, M. (2021). Thermal physiology responds to interannual temperature shifts in a montane horned lizard, *Phrynosoma orbiculare*. Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology, 335(1): 136-145 p.
- Esri. (2021). ArcGis Desktop (versión 10.8)[Software]. Esri. <https://www.esri.com/es-es/home>
- García, E. & CONABIO (1998). Climas. Recuperado el 13 de febrero de 2023 de la página <http://geoportal.conabio.gob.mx>
- GBIF (2001). GBIF | Global Biodiversity Information Facility. Recuperado el 30 de octubre de 2022 de la página <https://www.gbif.org/es/>
- Google LLC. (2023). Google Earth Pro (versión 7.3.6) [Software]. Softonic. <https://google-earth-pro.softonic.com/>
- Hernández, D. (2018). Edad y crecimiento corporal de *Phrynosoma orbiculare* (Squamata: Phrynosomatidae). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México: 34 p.
- iNaturalistMX. Disponible en <https://www.naturalist.mx>. Acceso [2023].
- INEGI (1997). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie I (continuo nacional). Recuperado el 13 de febrero de 2023 de la página <http://geoportal.conabio.gob.mx/>
- INEGI (2010a). Compendio de información geográfica municipal 2010 Pachuca de Soto, Hidalgo. Recuperado el 25 de Julio de 2023 de la página web https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13048.pdf
- INEGI (2010b). Compendio de información geográfica municipal 2010 Singuilucan, Hidalgo. Recuperado el 25 de Julio del 2023 de la página web https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13057.pdf
- INEGI (2010c). Compendio de información geográfica municipal 2010 Huasca de Ocampo, Hidalgo. Recuperado el 25 de Julio del 2023 de la página web https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13024.pdf
- INEGI (2010d). Compendio de información geográfica municipal 2010 Mineral de la Reforma, Hidalgo. Recuperado el 25 de Julio del 2023 de la página web https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13051.pdf
- INEGI (2018). Flora y fauna. Cuéntame Recuperado el 25 de agosto del 2022 de la página https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/hgo/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=13#:~:text=Hidalgo&text=Existe%20una%20amplia%20variedad%20de,principalmente%20al%20norte%20y%20noreste
- INEGI (2021). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional). Recuperado el 13 de febrero de 2023 de la página <http://geoportal.conabio.gob.mx/>
- Manríquez, N., Castillo, J., Goyenechea, I., Cruz, R., Hernández, U., Lara, D., Fernández, L., Berriozabal, C. & Ramírez, A. (2021). Riqueza y diversidad de saurópsidos (No aves) del estado de Hidalgo. En Ramírez- Bautista, A., Sánchez -González, A., Sánchez-Rojas, G. & Cuevas-Cardona, C. (eds). Biodiversidad del Estado de Hidalgo, 2: 505-529 p. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Méndez, F., Hernández, O. & Rodríguez, F. (2003). *Phrynosoma orbiculare*. Elaboración de fichas de 5 especies de lacertilios: PROY-NOM-059-ECOL-2000. Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W033. México. D.F.
- Meyers, J., Herrel, A., & Nishikawa, K. (2006). Morphological correlates of ant eating in horned lizards (*Phrynosoma*). Biological Journal of the Linnean Society, 89(1), 13-24 p.
- Montiel, G., Goyenechea, I., Fernández, L., & Castillo, J. (2016). Evaluación de análisis de endemidad y PAE para identificar trazos generalizados, a partir de las serpientes del estado de Hidalgo, México. Revista de Biología Tropical, 64(4), 1611-1624 p.
- Moreno, R., Rodríguez, F., Velázquez, A., & Aragón, A. (2013). Variación geográfica en *Phrynosoma orbiculare* (Sauria: Phrynosomatidae): análisis de las subespecies. Acta zoológica mexicana, 29(1), 129-143 p.
- Naturalista. (2022). Camaleón de Montaña (*Phrynosoma orbiculare*). Recuperado el 25 de septiembre del 2022 de la página <https://www.naturalista.mx/taxa/36307-Phrynosoma-orbiculare>
- Phillips, S., Dudík, M. & Schapire, R. (2023) Maxent software for modeling species niches and distributions (version 3.4.4)[Software]. American Museum of Natural History. https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- Ramírez, A., Hernández, U., Cruz, R., Berriozabal, C., Lara, D., Goyenechea, I., & Castillo, J. (2014). Familia Phrynosomatidae. En Ramírez, A., Hernández, U., Cruz, R., Berriozabal, C., Lara, D., Goyenechea, I., & Castillo, J.(eds). Los anfibios y reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, biogeografía y conservación. 107-121 p. Sociedad Herpetológica Mexicana.
- Ramírez, A., Hernández, U., Mendoza, F., Cruz, R., Stephenson, B., Vite, V. & Leyte, A. (2010). Familia Phrynosomatidae. En Ramírez, A., Hernández, U., Mendoza, F., Cruz, R., Stephenson, B., Vite, V. & Leyte, A. (eds). Lista anotada de los anfibios y reptiles del estado de Hidalgo, México, 53-61 p. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad.
- Ramírez-Bautista, A., Díaz-Marín, C. A., García-Rosales, A., & Berriozabal-Islas, C. (2023). ¿Atrapados, sin salida?: El caso de los anfibios y reptiles en la ciudad de Pachuca, Hidalgo, México. *Biología Y Sociedad*, 6(11), 34–41p.
- Raya, E. (2013). Los camaleones de México para el mundo. CONABIO. Biodiversitas, 107, 1-6 p.
- Robledo; M., Suárez; E. & Maruri; A. (2017). Densidad, distribución y estructura poblacional del camaleón (*Phrynosoma orbiculare*, Linnaeus 1879) en la Reserva Ecológica San Juan del Monte, Las Vigas, Veracruz. Recuperado el 20 de julio de 2023 de la página web https://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion3/S3-BYQ15.pdf
- Rocha, F. (2018). Distribución potencial de las especies de batoideos de mayor importancia pesquera en el golfo de México. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 73 p.
- Rojas, U. (2018). Dieta de *Phrynosoma orbiculare* (Squamata: Phrynosomatidae) en una población del Estado de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. 45 p.
- Solís J. et al. (2022). Programa de ordenamiento ecológico local del territorio del municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo. Recuperado el 23 de Junio del 2023 de la página web https://datos.pachuca.gob.mx/bitacoraOA/PDFS/Programa_de Ordenamiento_Ecologico_Local_de_Pachuca_de_Soto_POELT_01072022.pdf
- Suárez, O., Suárez, G., Chávez, F., Pérez, F., Andrade, G., Aguilar, L. & Hernández, O. (2018). Masa relativa de la camada en *Phrynosoma orbiculare* (Squamata: Phrynosomatidae) en el Parque Estatal Sierra Morelos, Toluca, Estado de México. Revista mexicana de biodiversidad, 89(1), 282-289 p.
- WorldClim (2020). WorldClim 2.1. Recuperado el 4 de mayo de 2023 de la página <https://www.worldclim.org/data/index.html>