UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Facultad de Ciencias

"Variación en el uso de hábitat y coloración dorsal del Camaleón de Montaña, *Phrynosoma orbiculare*, en dos poblaciones del Estado de México"

TESIS

Para obtener el título de:

Bióloga

PRESENTA

Karla Noemi Colin Medina

ASESOR
Dr. Oswaldo Hernández Gallegos

COASESOR
M. en C. Edgar Oviedo Hernández

7 de octubre de 2026

Índice de Figuras

Figura. 1. Vista ventral (A) y vista dorsal de *Phrynosoma orbiculare* (B) en Boshindó, Acambay, Estado de México.

Figura. 2. Abultamiento post-cloacal de un macho de *Phrynosoma orbiculare* en Boshindó, Acambay, Estado de México.

Figura. 3. Vegetación de San Juan de las Huertas, Zinacantepec, Estado de México. Se observa bosque secundario de coníferas y áreas de cobertura vegetal dominadas por zacatonal.

Figura. 4. Vegetación de Boshindó, Acambay, Estado de México. Se observa vegetación de pino-encino y matorral xerófilo, acompañada de arbustos y áreas abiertas con vegetación herbácea. La zona presenta sectores con suelo expuesto y sustrato rocoso.

Figura. 5. Cuantificación de color en RGB en ImageJ de *Phrynosoma orbiculare*. Se seleccionaron tres puntos del dorso: la región superior entre la cabeza y las extremidades anteriores; la región media y la región inferior entre el dorso y la altura de las extremidades posteriores. Únicamente se cuantificó la parte central del dorso y seis puntos al azar del sustrato, lo más cercanos al individuo, aproximadamente a 4 mm del individuo.

Figura. 6. Polígono satelital de San Juan de las Huertas, Zinacantepec, Estado de México (A). También se incluye la distribución espacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (B). Los valores más altos son representados con los tonos verdes, mostrando mayor cobertura vegetal, y los tonos rojos y amarillos representan valores menores de NDVI, mostrando una baja cobertura vegetal. El contorno negro delimita el área de estudio. (Oviedo-Hernández, en proceso).

Figura. 7. Polígono satelital de Boshindó, Acambay, Estado de México (A). La distribución espacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (B). Los valores más altos son representados con los tonos verdes, mostrando mayor cobertura vegetal y los tonos rojos y amarillos representan valores menores de NDVI, mostrando una baja cobertura vegetal. El contorno negro delimita el área de estudio (Oviedo-Hernández, en proceso).

Figura. 8. Análisis de correspondencia entre los grupos ontogenéticos, para la categoría suelo en el uso de microhábitat utilizadas por *Phrynosoma orbiculare* en las poblaciones de San Juan de las Huertas (SJ) y Boshindó (Bosh). Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ).

Figura. 9. Análisis de correspondencia entre los grupos ontogenéticos, la categoría vegetación en el uso del microhábitat utilizadas por *Phrynosoma orbiculare* en las poblaciones de San Juan de las Huertas (SJ) y Boshindó (Bosh). Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ).

Figura. 10. Proporción del uso de microhábitat en la categoría suelo, por categorías ontogenéticas en las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó de *Phrynosoma orbiculare*. Cada barra representa una proporción de individuos registrados en cada microhábitat de la categoría suelo: rocoso, arenoso y herbáceo. Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA) n= 61, hembras jóvenes (HJ) n= 92, machos adultos (MA) n= 24 y machos jóvenes (MJ) n= 57.

Figura. 11. Proporción del uso de microhábitat en la categoría suelo, por categorías ontogenéticas en las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó de *Phrynosoma orbiculare*. Cada barra representa una proporción de individuos registrados en cada microhábitat de la categoría vegetación: desnudo, pastizal bajo, pastizal medio y pastizal denso. Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA) n= 61, hembras jóvenes (HJ) n= 92, machos adultos (MA) n= 24 y machos jóvenes (MJ) n= 57.

Figura. 12. Análisis de correspondencia de San Juan de las Huertas entre los grupos ontogenético, del uso de microhábitats en la categoría suelo, utilizadas por *Phrynosoma orbiculare*. Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ).

Figura. 13. Comparación de la distancia cromática (D_{rgb}) entre las poblaciones de Boshindó y San Juan de las Huertas.

Fig. 14. Distancia cromática promedio (D_{rgb})de *Phrynosoma orbiculare* según el microhábitat utilizado en Boshindó y San Juan de las Huertas.

Figura. 15. Comparación de la coloración dorsal y del microhábitat de *Phrynosoma orbiculare*, según el catálogo de colores de Köhler (2012), en la población de San Juan de las Huertas.

Figura. 16. Comparación de la coloración dorsal y del microhábitat de *Phrynosoma orbiculare*, según el catálogo de colores de Köhler (2012), en la población de Boshindó.

Figura. 17. Comparación de la coloración dorsal de *Phrynosoma orbiculare* entre las dos poblaciones: Boshindó se muestra: hembra con LHC 62 mm, octubre 2025 (A), macho con LHC 44 mm, octubre 2026 (C), hembra con LHC 69 mm, octubre 2025 (E), macho con un LHC 70 mm abrir 2026 (G) y en San Juan de las Huertas, se muestra: hembra con LHC 84 mm, abril 2026 (B), hembra con LHC 61mm, abril 2026 (D), una Hembra con LHC 86 mm, marzo 2026 (F) y hembra con un LHC 85 mm, abril 2026 (H).

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación en el uso de microhábitat en la categoría suelo, entre las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó de *Phrynosoma orbiculare*. En negritas residuos significativos.

Cuadro 2. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría vegetación, entre las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó de *Phrynosoma orbiculare*. En negritas residuos significativos.

Cuadro 3. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat para la categoría suelo, entre sexo-ontogenia de *Phrynosoma orbiculare*. Se consideraron cuatro categorías ontogénicas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ). En negritas residuos significativos.

Cuadro 4. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat para la categoría vegetación, entre sexo-ontogenia de *Phrynosoma orbiculare*. Se consideraron cuatro categorías ontogénicas: hembras adultas

(HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ). En negritas residuos significativos.

Cuadro 5. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría suelo, en etapas ontogénicas de la población de San Juan de las Huertas de *Phrynosoma orbiculare.* Se consideraron cuatro categorías ontogénicas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y m achos jóvenes (MJ). En negritas residuos significativos.

Cuadro 6. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría vegetación, en etapas ontogénicas de la población de San Juan de las Huertas de *Phrynosoma orbiculare.* Se consideraron cuatro categorías ontogénicas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ). En negritas residuos significativos.

Cuadro 7. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría suelo, en las épocas de lluvia y sequía para ambas poblaciones de *Phrynosoma orbiculare.*

Cuadro 8. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría vegetación, en las épocas de lluvia y se quía para ambas poblaciones de *Phrynosoma orbiculare.*

Cuadro 9. Variación de la distancia cromática de *Phrynosoma orbiculare* en relación con el sexo, estadio ontogenético, mes de captura y la población. En negrita, el valor de *p* significativo.

Contenido

Resumen **11**

INTRODUCCIÓN **12**

Uso de hábitat 13

Coloración 14

Antecedentes **16**

Género *Phrynosoma* 16

Estudios previos del uso del hábitat y coloración en el género *Phrynosoma* 17

Alimentación 19

Phrynosoma orbiculare 20

Historia natural 21

Justificación **23**

Objetivos **24**

Materiales y Métodos **25**

Áreas de estudio 25

Trabajo de campo 26

Evaluación del uso de hábitat 27

Coloración 28

Resultados **32**

Uso de hábitat 32

Uso del microhábitat entre poblaciones 32

Uso del microhábitat entre etapas ontogenéticas y sexos 36

Uso del microhábitat en San Juan de las Huertas 40

Uso del microhábitat en Boshindó 42

Uso del microhábitat entre la época de estiaje y de lluvia 42

Coloración 43

Discusión **50**

Uso de microhábitat 50

Uso del microhábitat entre poblaciones 50

Uso del microhábitat entre estadio ontogenético 53

Uso del microhábitat entre épocas de estiaje y lluvia 54

Coloración dorsal 55

Conclusiones **58**
Referencias **59**

RESUMEN

La adaptación al entorno es fundamental para la subsistencia de las poblaciones, especialmente en reptiles, cuya persistencia depende del uso eficiente del hábitat y estrategias de coloración criptica. El Camaleón de Montaña, *Phrynosoma orbiculare,* es una especie endémica de México, presenta densidades poblacionales bajas y enfrenta diferentes amenazas, entre ellas la degradación y la fragmentación del hábitat. En este estudio se evaluó el grado de la variación poblacional en el uso de microhábitat y coloración dorsal en dos poblaciones del Estado de México. Las poblaciones de estudio se ubican en el Ejido de San Juan de las Huertas, Zinacantepec y en Boshindó, Acambay y se caracterizan por presentar microambientes contrastantes: pastizales y microambientes rocosos, respectivamente. Se realizaron muestreos mensuales entre agosto del 2025 y marzo del 2026 y se utilizó el método de captura-marcaje-recaptura. La toma de datos consistió en el registro de variables morfológicas y del microhábitat; este último por medio de una fotografía de cada individuo en el microhábitat donde se encontró. Finalmente, se cuantificó el color dorsal utilizando un modelo que considera el color RGB. Se obtuvieron registros de 234 lagartijas entre las dos poblaciones. Se encontraron diferencias significativas en el uso de microhábitat: hubo mayor uso de suelo herbáceo y vegetación de pastizal denso para San Juan de las Huertas, mientras que Boshindó se registraron hábitats rocosos desprovistos de vegetación. En la comparación entre etapas ontogenéticas se encontraron diferencias significativas en el uso del suelo y vegetación con las poblaciones en conjunto. Para San Juan de las Huertas se registraron diferencias significativas en el uso de suelo entre etapas ontogenéticas. Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas respecto a la vegetación. Para Boshindó no se registraron diferencias significativas en la vegetación y suelo entre etapas ontogenéticas. La comparación entre época de lluvia y estiaje no presentó deferencias significativas. En cuanto a la coloración solo se registraron diferencias significativas entre la comparación de poblaciones. Estas diferencias pueden sugerir asociaciones ligadas a las características de cada sitio en función del grado de ajuste ecológico al entorno.

INTRODUCCIÓN

La variación morfológica, fisiológica o molecular dentro de una especie puede asociarse a una interacción entre factores ecológicos, genéticos y evolutivos. A escala poblacional, esta variación puede estar asociada con diferencias en las condiciones del hábitat, las interacciones sociales, las condiciones climáticas y la densidad o estructura demográfica de las poblaciones. En contraste, a escala individual, la variación puede estar moldeada por factores como la ontogenia, la edad, el sexo y la temporalidad (Bolnick et al., 2011; Gamelon et al., 2025).

El ambiente presenta variaciones espaciales en sus características físicas y biológicas (Stein et al., 2014). Estas variaciones incluyen la estructura de la vegetación, cobertura del suelo, topografía y condiciones microclimáticas, lo cual genera una heterogeneidad ambiental que es crucial en la organización de las comunidades y puede propiciar diferencias en la disponibilidad de recursos y condiciones ecológicas a distintas escalas espaciales (Stein et al., 2014). En los animales, la heterogeneidad estructural del hábitat influye en los patrones de distribución y uso del espacio, modificando la disponibilidad de recursos y refugios (Tews et al., 2004). Por lo que, los organismos pueden utilizar diferentes componentes del ambiente de acuerdo con las condiciones y recursos que éstos proporcionan. Por ejemplo, Kim et al. (2022) evaluaron la relación entre las condiciones microclimáticas y la composición de la vegetación en hábitats utilizados por aves, considerando variables como la temperatura, la riqueza de arbustos del sotobosque y la cobertura del dosel. Sus resultados mostraron que las características de la vegetación pueden modificar las condiciones térmicas del microhábitat y, en consecuencia, influir en la respuesta de las poblaciones al proporcionar condiciones térmicas y recursos favorables.

Del mismo modo la interacción entre los organismos y las características de su entorno es fundamental para la persistencia de las poblaciones. En los animales, las características del hábitat pueden determinar la disponibilidad de sitios adecuados para satisfacer sus requerimientos fisiológicos y ecológicos (Vitt & Caldwell, 2014; Sun et al., 2024). Además de proporcionar condiciones favorables para el mantenimiento de sus funciones fisiológicas,

el ambiente puede ofrecer sitios que reduzcan la exposición ante los depredadores. En este contexto, la disponibilidad de refugios y la cripsis constituyen componentes importantes del hábitat que pueden favorecer la supervivencia y, en consecuencia, la persistencia de las poblaciones (Rhoads & William, 2023).

La interacción de los organismos con su ambiente puede influir directamente en su supervivencia y en el éxito reproductor. Esta relación está determinada por factores abióticos: temperatura, humedad, precipitación, estructura del sustrato, así como factores bióticos como la disponibilidad de recursos y las interacciones intraespecíficas con otras especies. En los reptiles, la influencia de las condiciones ambientales es particularmente relevante debido a su condición ectotérmica, ya que dependen de las condiciones ambientales para regular su temperatura corporal (Manzanilla & Pefaur, 2000; Audesirk et al., 2002). Estas condiciones favorecen el desarrollo de estrategias de termorregulación, como la exposición a la radiación solar, el uso de superficies cálidas y desplazamientos entre microhábitats con condiciones térmicas diferentes, ayudando a mantener su temperatura corporal dentro de los intervalos adecuados para sus funciones fisiológicas (Bustos-Zagal et al., 2013; Angilletta et al., 2002).

Uso de hábitat

El hábitat es utilizado para describir un área que presenta una vegetación particular, este comprende un conjunto de características bióticas y abióticas que proporcionan condiciones disponibles para los organismos, entre ellas el tipo de sustrato, la estructura y cobertura vegetal, la disponibilidad de alimento y refugio (Chávez-Hidalgo, 2017; Satyam & Thiruchitrambalam, 2018). La heterogeneidad del hábitat es fundamental ya que favorece la obtención de alimento, vegetación, agua, temperatura, precipitación, topografía y la interacción con otras especies (e.g. depredadores, presas, competidores) (Krausman, 1999).

El uso de hábitat se refiere a la manera en que los organismos utilizan los diferentes componentes físicos y biológicos de su entorno para satisfacer sus requerimientos. Este uso puede estar asociado con distintas actividades, como el forrajeo, la reproducción, la anidación, el descanso o la evasión de depredadores, y puede estar condicionado por factores ambientales como la temperatura, la humedad y la precipitación. Los organismos pueden

acoplar el mismo uso de hábitat para realizar diferentes funciones; por ejemplo, el área que utilizan para alimentarse también puede ser usada como percha o refugio, dependiendo de los requerimientos de los organismos (Krausman, 1999).

El hábitat puede analizarse en diferentes escalas espaciales, desde el microhábitat, hasta unidades de mayor extensión, como el macrohábitat, mesohábitat y megahábitat (Greene et al., 1999). Los microhábitats y macrohábitats son más utilizados en estudios del paisaje donde hay un tipo específico de hábitat (Krausman, 1999). Johnson (1980) sintetizó cuatro procesos de selección de hábitat de orden natural: selección de primer orden, se trata de la selección de área de distribución física o geográfica de una especie. El segundo orden: es el ámbito de acción de un individuo o grupo social dentro de su área geográfica. El tercer orden: está relacionado con el uso de los componentes del hábitat dentro del área de distribución como áreas para la alimentación y el cuarto orden: está relacionado con el uso de los componentes de un hábitat, siendo la obtención real de alimentos que están disponibles en ese sitio.

Estudiar el microhábitat permite evaluar cómo los organismos utilizan los recursos y las condiciones disponibles en el ambiente a una escala espacial más específica. Las características de los microhábitats pueden influir en procesos los fisiológicos debido a las condiciones térmicas entre los sitios disponibles (Smith & Ballinger, 2001).

Para estudiar el uso de hábitat de una especie se pueden hacer observaciones directas del animal, registros de manera indirecta como heces, dormideros y huellas, lo cual está relacionado con la preferencia de hábitat, que se define como el uso desproporcional de algunos recursos como consecuencia de la selección que hacen los animales de ellos, siendo un comportamiento innato y aprendido que los animales hacen para elegir sus hábitats y los recursos que utilizan para algunas actividades (Abáigar et al., 2013; Johnson, 1980).

Coloración

En vertebrados e invertebrados, los patrones de coloración cumplen diferentes funciones como la termorregulación, comunicación intraespecífica, evasión de depredadores, entre

otras. Entre estas funciones la coloración como estrategia para evitar la depredación se divide en dos categorías: crispis o conspicuidad (Tullberg et al., 2005).

La coloración críptica reduce la detectabilidad del organismo al favorecer su semejanza con el entorno. Esta relación puede variar espacial y temporalmente debido a cambios en las condiciones ambientales, como la intensidad y composición de la luz, las características del sustrato o la estructura del hábitat (Endler, 1984; Borras Guevara, 2008). En contraste, la coloración conspicua incrementa el contraste visual entre el organismo y su entorno, favoreciendo su detectabilidad, lo que puede funcionar como una coloración de alerta (Borras Guevara, 2008; Macedonia et al., 2004).

Hay dos tipos de cambios de color en los animales: (1) el fisiológico, que es causado por el movimiento de gránulos de pigmento dentro de los cromatóforos, demostrando gran plasticidad en el color del cuerpo, ya que ocurre en milisegundos a horas en cortos plazos; y (2) el morfológico, ocurre en los cambios de coloración de pigmento de los cromatóforos, es una adaptación a largo plazo a un fondo determinado, ya que tarda varios días hasta meses (Tong et al., 2019). La mezcla entre estas dos coloraciones y distintos microhábitats donde el animal se mueve es llamada contraste disruptivo (Borras Guevara, 2008). Esto ayuda a que los animales sean menos depredados, ya que tienen partes del cuerpo semejantes al fondo y otras muy diferentes (Merilaita & Lind, 2006).

La coloración puede favorecer para que los reptiles se adapten a entornos variables, ya que el camuflaje es una parte importante para sobrevivir en diferentes fondos de color. Para que el camuflaje sea efectivo, los animales deben seleccionar un sustrato que se mezcle con la coloración de su cuerpo (Banos Villalba et al., 2018).

En los reptiles, la coloración corporal cumple diversas funciones ecológicas y sociales, ya que pueden participar en la comunicación intraespecífica y contribuir al camuflaje al reducir la detectabilidad de los individuos ante depredadores visuales (Cooper y Greenberg 1992). Asimismo, en los periodos de apareamiento, los machos de diversas especies pueden desarrollar o intensificar determinadas coloraciones que funcionan como señales sociales y que pueden estar relacionadas con el dimorfismo y la selección sexual. En saurios la comunicación mediante señales cromáticas está altamente desarrollada; los colores llamativos de los machos se muestran principalmente durante los despliegues sexuales y

agresivos (Cooper y Greenberg 1992). Sinervo & Lively (1996) estudiaron en *Uta stansburiana* que los machos pueden adoptar distintas estrategias de apareamiento, ya que presentan tres morfos de coloración (naranja, azul y rojo) que se relacionan con estrategias reproductoras alternativas, cuyo éxito depende de la frecuencia relativa de cada morfo en la población. Este mecanismo puede favorecer la coexistencia y el mantenimiento de los diferentes morfos de coloración a lo largo del tiempo.

El género *Phrynosoma* pertenece a la familia Phrynosomatidae, se caracteriza por presentar diversas estrategias antidepredatorias, entre las que destacan las modificaciones morfológicas de su cuerpo, como las espinas y la textura corporal, mecanismos defensivos especializados, entre ellos la autohemorragia ocular. Así como mecanismos pasivos como la cripsis (Sherbrooke, 2003). Estas características constituyen adaptaciones que contribuyen a la defensa frente a los depredadores y hacen del género *Phrynosoma* un grupo particular dentro de la familia (Borras Guevara, 2008; Merilaita & Lind, 2006; Sherbrooke, 2003).

ANTECEDENTES

Género *Phrynosoma*

El género *Phrynosoma,* conocido comúnmente como falsos camaleones o lagartos cornudos, cuenta con 18 especies; se distribuyen en Norteamérica en México y Guatemala (Leaché et al., 2021; Goyenechea & Camacho-Alva, 2023). El género se caracteriza por un conjunto de adaptaciones morfológicas, ecológicas y conductuales especializadas, sus principales características son: 1) cuerpo aplanado en forma oval, rodeado por una o dos hileras de espinas laterales de su cuerpo; 2) extremidades cortas; 3) estrategias antidepredatorias como la cripsis; 4) están activos en tiempo prolongado; 5) variabilidad de temperatura en comparación con lagartijas simpátricas; 6) dieta especializada en hormigas principalmente; 7) capacidad estomacal grande en comparación con su cuerpo; 8) dentición adaptada a la mirmecófaga; 9) tienen gran cantidad de crías; 10) alta inversión energética por evento reproductor, aunque baja inversión individual debido a las nidadas y camadas muy grandes; y (11) forrajeo pasivo (Pianka & Parker, 1975; Sherbrooke, 2003).

Estas lagartijas varían en colores, tamaño y largo de la cola. Tienen un rasgo morfológico distintivo: presentan cuernos en la región posterior de la cabeza, en particular, los cuernos de la línea central (occipitales) y a los lados (temporales), siendo claves para determinar la especie (Ponce Rosales, 2024; Sherbrooke, 2003).

Estudios previos del uso del hábitat y coloración en el género *Phrynosoma*

En lagartijas, los estudios sobre el uso de hábitat generalmente se basan en movimientos diarios. En el caso del género *Phrynosoma*, aún no hay suficientes investigaciones sobre este tema. Fair & Henke (1999) estudiaron conductas de territorialidad relacionadas con el ámbito hogareño, en *Phrynosoma cornutum*, registrando una variedad en los períodos de actividad, termorregulación, forrajeo, reproducción y tamaño corporal relacionados con el uso del hábitat.

Beauchamp et al. (1998) evaluaron el uso de hábitat de *Phrynosoma mcallii* en un ambiente perturbado de California, comparando diferentes condiciones ambientales como grava con vegetación escasa, colinas de lodo y zonas de arena fina. Registraron mayores densidades de individuos asociados con zonas de grava con vegetación escasa y colinas de lodo. Estos resultados contrastaron con la descripción previa de *P. mcallii* una especie asociada con planicies de arena fina.

Hult y Germano (2015) evaluaron el uso del hábitat de *Phrynosoma blainvillii* en el desierto de San Joaquín, California, considerando diferentes características del ambiente, entre ellas el tipo de suelo y la estructura de la vegetación. Los autores registraron una mayor frecuencia de individuos en áreas de suelo desnudo y con vegetación escasa, mientras que las zonas con vegetación de densidad media y alta fueron utilizadas con menor frecuencia. Asimismo, encontraron diferencias en el uso del hábitat entre los sitios de estudio, relacionadas con la disponibilidad de sustratos y la cobertura vegetal. Estos resultados muestran variación en el uso del hábitat de *P. blainvillii* de acuerdo con las características ambientales presentes en cada sitio.

Pianka & Vitt (2003) formularon tres hipótesis sobre las variables que tienen efecto en la temperatura de las lagartijas: (1) los animales de coloración oscura absorben más calor que

los animales de coloración clara. (2) Las lagartijas con una longitud hocico-cloaca mayor mantienen mayor tiempo el calor que las que tienen una menor longitud hocico-cloaca, sin embargo, la búsqueda de alimento y el movimiento puede aumentar de manera proporcional de la temperatura corporal, y (3) la temperatura corporal también se ve afectada por el tipo de hábitat, ya que las lagartijas no alcanzan temperaturas óptimas en hábitats con temperaturas homogéneas, en comparación con los hábitats heterogéneos que les permite a las lagartijas un control preciso en la selección de la temperatura corporal adecuada para el desempeño de sus actividades y procesos fisiológicos.

Rhoads & Williams (2023) registraron que, a lo largo de un área geográfica, el color corporal de *P. cornutum* coincide con la coloración del sustrato en el microhábitat que se encuentran. Conjuntamente, dicha coloración se relaciona con conductas antidepredatorias, al realizar conductas como inmovilidad, aplanamiento del cuerpo y reducción de sombras por medio de escamas laterales claras, lo que permite evadir a los depredadores visualmente. En contra parte, los individuos cuya coloración contrasta con el sustrato tienen más probabilidades de sufrir más ataques de depredadores.

Borras Guevara (2008) menciona que la línea dorsal blanca de *P. cornutum* desempeña un papel importante en el sistema de comunicación antidepredatoria, destacando que la variación de esta característica no es determinada únicamente por la presión de las características de color a un estrato vegetal, sino que también intervienen factores como la densidad y el tipo de depredadores presentes. Así mismo señala que *P. cornutum* utiliza el contraste disruptivo como estrategia antidepredatoria, debido a las similitudes que existen entre la línea dorsal, el cuerpo y diferentes estratos vegetales, lo que sugiere que la especie presenta principalmente coloraciones crípticas que favorecen su camuflaje y disminuyen la probabilidad de ser detectados por los depredadores.

Particularmente Luna Kamyshev (2012) documentó que en una población de *P. orbiculare* los adultos y las crías están separados en microhábitats muy particulares. Las crías se distribuyen principalmente en caminos caracterizados por ser planos, con mayor incidencia solar, despejados de vegetación, sustrato arenoso y cercanía a los hormigueros; mientras que los adultos fueron encontrados en microhábitats con mayor densidad vegetal, como pastizales y arbustos, no obstante, ambas etapas ontogenéticas comparten sitos de termorregulación.

Martínez-Nova (2019) observó en *P. orbiculare* de una población en el Parque de la Ciencia Sierra Morelos, que los individuos prefirieron áreas de pastizal denso, sin diferencias entre sexos. Igualmente, encontró variación en el uso de microhábitat durante todo el día, relacionadas con las necesidades térmicas, alimenticias y de evasión de depredadores. Se observó que la radiación solar influye sobre la selección de microhábitats, la forma y coloración en diferentes individuos, los cuales pueden desplazarse entre sitios con densidad vegetal diferente.

Alimentación

El género *Phrynosoma* se caracteriza por tener una estrategia de forrajeo al acecho, las lagartijas esperan inmóviles a sus presas que se aproximan, teniendo una tasa de captura muy baja por día (Fertschai et al., 2015). Se ha demostrado que las especies del género *Phrynosoma* tienen una dieta basada en artrópodos del suelo, entre ellos están las hormigas, coleópteros, y ortópteros, donde algunas especies presentan variaciones en el nivel de mirmecófaga (consumo de hormigas) (Carnalla Benítez, 2024). Estudios sobre la dieta de *P. orbiculare* en el centro de México han registrado que el orden de los Hymenoptera es la categoría con más abundancia, seguido de Coleóptera e Isópoda que constituyen el 95% de su dieta (Desentis-Hernández & Mayer-Goyenechea, 2025; Rojas-Hernández et al., 2025). Esta especie es especialista hacia algunas presas como los hemípteros; esta especialización se puede deber a la capacidad prensil de la lengua, modificaciones en el tracto faríngeo y la forma dental (Ramakrishnan et al., 2018)

Estudios de *P. cornutum* sobre la distribución y abundancia en relación con la presencia de hormigas en dos pastizales diferentes demuestran que las hormigas tienen diferente abundancia en los distintos pastizales; sin embargo, *P. cornutum* se mantiene constante en ambos ambientes. Asimismo, se registró que *P. cornutum* se localiza muy próximo a las entradas de los hormigueros, dando referencia a su distribución, estrechamente vinculada con la disponibilidad de recursos alimenticios (McIntyre, 2003).

Phrynosoma orbiculare

Phrynosoma orbiculare, Linnaeus, 1789 es una especie endémica de México, perteneciente a la familia Phrynosomatidae. Su nombre proviene del latín *orbis,* que significa circular. Esta lagartija alcanza un tamaño de 78.2 a 89.8 mm de longitud hocico-cloaca, posee 13 poros femorales en cada extremidad trasera y presenta escamas granulares en la superficie dorsal del cuerpo, cola, región femoral y tibial (Méndez-de la Cruz et al., 2003; Desentis-Hernández & Mayer-Goyenechea, 2025). Presenta una coloración que puede ser grisácea o pardo oscuro en la zona dorsal de su cuerpo; en la región del occipucio se distingue un par de manchas claras algo difusas. La región ventral es de color amarillo claro con múltiples puntos oscuros, escamas suaves y manchas negras en la región pectoral-abdominal. Con escamas dorsales proporcionalmente grandes y en forma de espina, las escamas laterales son de forma aplanada dorsoventralmente y tienen una fila de escamas continuas en forma de espina en la parte lateral del cuerpo, siendo útiles para una rápida termorregulación y para capturar gotas de lluvia. Una de las características distintivas de la especie es su cráneo con dos cuernos occipitales cortos y tres cuernos temporales en cada lado (Méndez-de la Cruz et al., 2003; Sherbooke, 2003) (**Fig. 1**).

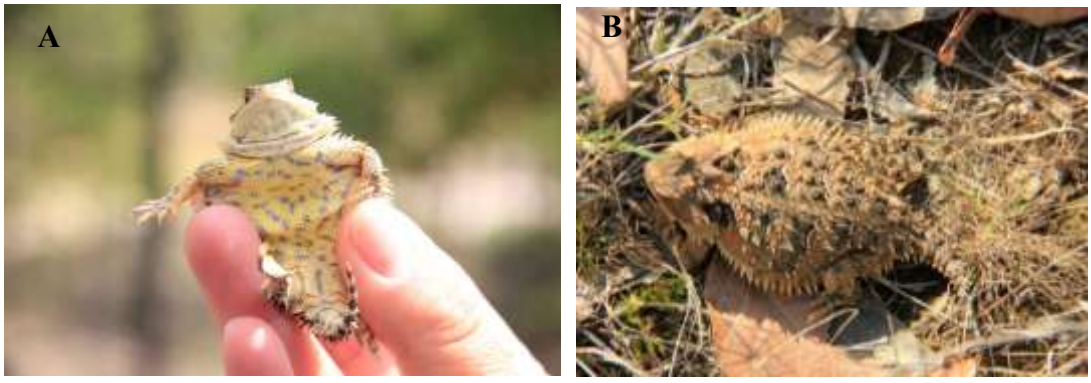


Figura. 1. Vista ventral (A) y vista dorsal de *Phrynosoma orbiculare* (B) en Boshindó, Acambay, Estado de México.

Existe dimorfismo sexual. Las hembras con más grandes en LHC (Ponce Rosales, 2024). Los machos tienen poros femorales definidos y distintivos; la longitud de la cola es un 11% más

larga que la de las hembras; también poseen hemipenes retraídos en un abultamiento postcloacal (**Fig. 2.**). Otra diferencia está en el cráneo de las hembras, ya que es un 3% más amplio que el de los machos (Horowitz, 1955).



Figura. 2. Abultamiento post-cloacal de un macho de *Phrynosoma orbiculare* en Boshindó, Acambay, Estado de México.

P. orbiculare presenta densidades poblacionales bajas, principalmente por la degradación del suelo, consecuencia de las actividades antropogénicas que dejan a su paso incendios forestales, disminución de sitios de forrajeo, contaminación y extracción de individuos para usarlos como mascotas, por lo que resulta de gran importancia comprender el uso y preferencia de hábitat (Martínez-Nova, 2019). El Camaleón de Montaña, *P. orbiculare,* se distribuye en bosques y praderas fragmentadas, que son amenazadas por la tala clandestina, el pastoreo y la invasión humana. La fragmentación del ambiente natural es uno de los factores principales que afectan la reducción o la desaparición de esta lagartija, al igual que el cambio climático con la alteración en los ciclos biológicos (Luna Kamyshev, 2012).

Historia natural

Distribución y hábitat

Se distribuye en gran parte de la República Mexicana, aún no se conoce el número de poblaciones actuales, registros indican que se encuentra en los estados de Chihuahua, Colima, Durango, Nuevo León, Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Querétaro, Michoacán, Morelos, Puebla, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Desentis-Hernández & Mayer-Goyenechea, 2025). Se encuentra en ecosistemas boscosos,

bosques de pino-encino, matorrales semiáridos y zonas con plantas arbustivas, pastos, yucas y herbáceas (Suárez-Rodríguez et al., 2018).

Presenta un marcado gradiente altitudinal, con un gran contraste en los ambientes que se han encontrado en altitudes desde los 1,500 hasta los 3,400 m s. n. m. (Suárez-Rodríguez et al., 2018; (Desentis-Hernández & Mayer-Goyenechea, 2025). Se encuentra catalogado como preocupación menor (LC) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y como Amenazada (A) por la NOM-059-SEMARNAT-2025**.**

En cuanto al uso de hábitat de *P. orbiculare,* sea registrado en tres hábitats: suelo rocoso, vegetación herbácea y leñosa, usándolos en diferentes horas del día. El suelo aflorado lo usan en la mañana para la termorregulación, la vegetación herbácea la utilizan para forrajeo o perchar por las noches y en la vegetación leñosa se encuentran por las tardes cuando el calor es extremo en los suelos aflorados (Hernández-Navarrete, 2018).

Reproducción

Tiene una temporada reproductora que ocurre de otoño a invierno, con nacimientos en primavera (Hernández-Hernández et al., 2025). *Phyrnosoma orbiculare* es una especie vivípara, cuyas hembras tienen hasta 19 crías, las cuales se desarrollan dentro de ellas hasta el momento de su nacimiento (Uribe-Peña et al., 1999; García-Velázquez & Mendizabal-Beverido, 2008).

JUSTIFICACIÓN

P. orbiculare es una especie endémica de México y con estatus de amenazada (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2025). Aunque presenta una amplia distribución (Bryson et al., 2012), aún existen vacíos importantes en el conocimiento de su ecología, particularmente en lo referente al uso de hábitat y coloración corporal. Por lo cual se desconocen aspectos clave de la biología de esta especie en los diversos ambientes en los que habita y resulta difícil tomar decisiones acertadas respecto a su conservación. Bajo este contexto, el estudio de aspectos de ecología espacial y de coloración en los diferentes ambientes en los que se distribuye *P. orbiculare*, ofrece las herramientas necesarias para coadyuvar en su conservación. Dicho lo anterior, el Ejido de San Juan de las Huertas, perteneciente al Parque Ecológico de Cacalomacán en Zinacantepec y el poblado de Boshindó, perteneciente al municipio de Acambay, Estado de México, presentan condiciones ambientales contrastantes en cuanto a la estructura del hábitat y cobertura vegetal (pastizales *versus* rocas, respectivamente), siendo adecuados para evaluar la variación poblacional en el uso de hábitat y coloración corporal de esta lagartija. En este sentido, el presente proyecto tiene como finalidad analizar la correspondencia de la coloración corporal dorsal con el uso de microhábitat en cada población de *P. orbiculare*, además de aportar información para fortalecer las estrategias de manejo y de conservación del hábitat y de la especie.

OBJETIVOS

General:

- Evaluar la variación en el uso de microhábitat y coloración dorsal de *Phrynosoma orbiculare* en dos poblaciones con diferentes grados de cobertura vegetal, mediante la toma de datos *in situ*, para comprender los mecanismos de ajuste ecológico al entorno.

Específicos:

- Caracterizar el uso del microhábitat y sus diferencias entre sexos y estadios ontogenéticos de *Phrynosoma orbiculare* en dos poblaciones con diferente grado de cobertura vegetal del Estado de México.

- Describir el uso del microhábitat y sus diferencias entre la época de lluvia y la de estiaje de *Phrynosoma orbiculare* en dos poblaciones con diferente grado de cobertura vegetal del Estado de México.

- Analizar la variación en la coloración corporal dorsal y sus diferencias entre sexos y estadios ontogenéticos de *Phrynosoma orbiculare* en dos poblaciones con diferente grado de cobertura vegetal del Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

Una de las poblaciones de este estudio se ubica en el ejido de San Juan de las Huertas, el cual se encuentra en el municipio de Zinacantepec, Estado de México, y se sitúa en la Faja Volcánica Transmexicana, con coordenadas geográficas: 19°11'38.7"N 99°45'24.2"W. El sitio de estudio tiene una altitud que va desde 3 100 hasta 3 247 msnm, presenta un clima templado semifrío con lluvias en verano, la temperatura anual oscila entre los 12 y 18 °C, con precipitaciones anuales de 1 200 a 1 800 mm (García, 2004; CONABIO, 2011). El tipo de vegetación predominante corresponde a bosque secundario de coníferas; mientras los tipos de cobertura vegetal observados corresponden a vegetación riparía y zacatonal (Sánchez-Jasso, 2012; **Fig.3**).



Figura. 3. Vegetación de San Juan de las Huertas, Zinacantepec, Estado de México. Se observa bosque de pino-encino y áreas de cobertura vegetal dominadas por zacatonal.

La segunda población se localiza en Boshindó, municipio de Acambay, Estado de México entre las siguientes coordenadas geográficas: 19°55'00.5"N 99°50'10.4"W. El sitio de estudio tiene una altitud de 2 500 a 2 700 msnm. Con una precipitación anual de 999.4 a 1008.2 mm. La vegetación se compone principalmente de pino-encino y matorral xerófilo, arbustos

espinosos y áreas reforestadas (Oviedo-Hernández et al., 2025). La zona de estudio está conformada por numerosos microhábitats rocosos (**Fig.4**).



Figura. 4. Vegetación de Boshindó, Acambay, Estado de México. Se observa vegetación de pino-encino y matorral xerófilo, acompañada de arbustos y áreas abiertas con vegetación herbácea. La zona presenta sectores con suelo expuesto y sustrato rocoso.

Trabajo de campo

El estudio se llevó a cabo de agosto de 2025 a abril de 2026, con excepción del mes de febrero de 2026. Dicho periodo abarcó una temporada de estiaje (meses de diciembre, enero, marzo y abril) y una temporada de lluvia (agosto, septiembre, octubre y noviembre) (Gobierno del Estado de México, 2018). Se realizaron muestreos mensuales en los sitios de estudio. Durante cada muestreo se recorrió el área delimitada para cada zona de estudio con un esfuerzo de muestreo de 3 a 5 personas en un horario de 10:00 a 15:00 h. Las capturas de *P. orbiculare* se realizaron de forma manual. Cada individuo fue marcado mediante el método de captura-marcaje-recaptura basado en la ectomización de falanges (Lemos-Espinal et al., 2005). Dicho método le otorgó una marca individual a cada lagartija capturada y permitió reconocer sus recapturas.

A todos los individuos capturados se les tomaron los siguientes datos: marca de la identificación; se determinó el sexo basándose en la presencia de escamas post-cloacales en machos y longitud hocico-cloaca (LHC mm) para identificar su estadio ontogenético.

Evaluación del uso de hábitat

El uso de hábitat se evaluó a escala de microhábitat en dos tipos generales de hábitat: los pastizales del Ejido de San Juan de las Huertas y los matorrales espinosos de Boshindó. El microhábitat se caracterizó considerando dos componentes: la cobertura de la vegetación y el tipo de suelo. La cobertura vegetal se clasificó en cuatro categorías: (1) desnudo (parches arenosos sin vegetación herbácea o parches rocosos con muy pocos tallos y hierbas); (2) pastizal bajo (vegetación herbácea de 1 a 20 % de cobertura); (3) pastizal medio (vegetación herbácea de 20 a 50 % de cobertura) y (4) pastizal denso (vegetación herbácea de 50 a 100 % de cobertura) para la vegetación. El tipo suelo donde se encontró cada individuo se clasificó como: (1) herbáceo, (2) arenoso y (3) rocoso (Martínez-Nova, 2019). Estas variables se utilizaron para evaluar diferencias en el uso de microhábitat entre poblaciones, estadios ontogenéticos y épocas del año.

Los individuos se clasificaron por sexo y estadio ontogénico de acuerdo con las tallas de LHC sugeridas por Oviedo-Hernández et al. 2024: para las hembras, las jóvenes (HJ) ≤ 65 mm, adultas (HA) ≥ 66 mm y para los machos jóvenes (MJ) ≤ 64 mm y adultos (MA) ≥ 65 mm.

Los meses se agruparon de acuerdo con la época del año en que se realizó el muestreo. La época de lluvias comprendió agosto, septiembre, octubre y noviembre; mientras que para la época de sequía se consideraron los meses de diciembre, enero, marzo y abril (García, 2004).

Para analizar el uso de microhábitat (sustrato y vegetación) más utilizado por *P. orbiculare* entre estadios y épocas, se realizó una prueba de chi-cuadrado (X^2) con valores de *P* obtenidos mediante simulación de Monte Carlo basado en 10,000 réplicas. Las categorías del suelo fueron (rocoso, arenoso y herbáceo) y las de cobertura vegetal (desnudo, pastizal bajo, pastizal medio y pastizal denso). Las comparaciones se realizaron considerando la población (San Juan de las Huertas y Boshindó), el grupo sexo-ontogenético (hembras jóvenes y adultas, machos jóvenes y adultos) y la época de muestreo (lluvia y estiaje). Cuando la prueba

de X^2 resultó significativa, se examinaron los residuos estandarizados para identificar las categorías que contribuyeron en mayor medida a la asociación observada. Los valores de los residuos estandarizados se consideraron significativo si > 2 (asociación positiva) y < -2 (asociación negativa). Para representar gráficamente la asociación entre los grupos ontogenéticos, sexo y las categorías de microhábitat se realizó un análisis de correspondencia (CA) a partir de las tablas de contingencia. Las pruebas se realizaron en el programa RStudio v.2026.05.01. (R Core Team, 2022).

Coloración

El color dorsal de los individuos y del sustrato donde fueron observados se caracterizaron desde dos aproximaciones, una categórica con base en la guía "Color Catalogue for Field Biologists" de Köhler (2012) y otra cuantitativa, mediante el análisis de fotografías digitales. Para la caracterización categórica, la coloración dorsal de cada individuo se comparó directamente con el catálogo y se registró el color dorsal que presentó mayor similitud con la parte dorsal del individuo. De manera simultánea, se registró el color del sustrato donde se observó al individuo por primera vez. Todas las mediciones fueron realizadas por la misma persona para reducir la variación asociada al observador. Los colores registrados se representaron gráficamente para facilitar la comparación visual entre la coloración dorsal de los individuos y la del sustrato.

Para la caracterización cuantitativa, se tomaron fotografías con una cámara digital de cada individuo y del sustrato inmediato donde se encontró. Las fotografías se convirtieron de formato JPG a formato TIFF antes del análisis, para trabajar con un formato sin compresión con pérdida y evitar modificaciones adicionales en los valores de los píxeles durante el procesamiento de las imágenes en ImageJ.

Posteriormente, las imágenes se analizaron en el software ImageJ v.1.54K mediante el modelo de color RGB (siglas de Red, Green y Blue). Debido a que las fotografías fueron obtenidas bajo diferentes condiciones de iluminación y sin parámetros fotográficos estandarizados, los valores RGB se normalizaron para reducir la influencia de las diferencias de luminosidad entre fotografías.

Para caracterizar la coloración dorsal, se analizó solo la banda longitudinal localizada en la región central del dorso de *P. orbiculare* (Rhoads y William, 2023). Esta región se dividió en tres secciones y se obtuvo una medición RGB para las zonas: anterior, localizada entre la cabeza y las extremidades anteriores; media, correspondiente a la región central del dorso; y posterior, localizada a la altura de las extremidades posteriores.

Para caracterizar la coloración del sustrato se midieron seis puntos seleccionados al azar, lo más cerca posible del individuo (**Fig. 5**). Para la coloración se tomaron dos categorías ontogenéticas (adultos y jóvenes) el sexo se tomó como una variable independiente.

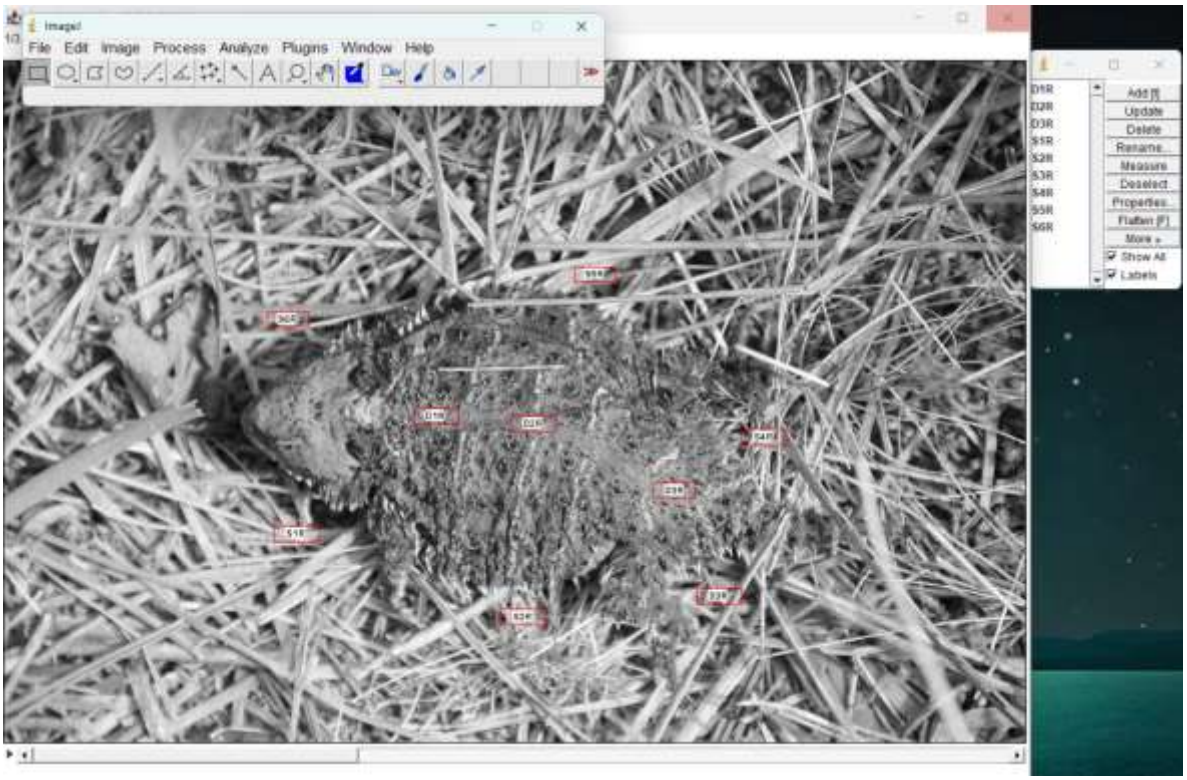


Figura. 5. Cuantificación de color en RGB en ImageJ de *Phrynosoma orbiculare*. Se seleccionaron tres puntos del dorso: la región superior entre la cabeza y las extremidades anteriores; la región media y la región inferior entre el dorso y la altura de las extremidades posteriores. Únicamente se cuantificó la parte central del dorso y seis puntos al azar del sustrato, lo más cercanos al individuo, aproximadamente a 4 mm del individuo.

Para cuantificar la similitud cromática entre los individuos y sustrato inmediato, se obtuvieron los valores de los componentes rojo (R), verde (G) y azul (B) de cada punto seleccionado en las fotografías. Para el dorso y el sustrato se calculó por separado el promedio de cada componente RGB. Posteriormente, los valores promedio se normalizaron con respecto a la suma de los tres componentes, obteniendo las proporciones relativas de rojo (r), verde (g) y azul (b). A partir de estos valores se calculó la distancia cromática entre cada individuo y su sustrato mediante la distancia euclidiana:

Dorso:

Promedio

$$r = \frac{R}{R + G + B'} g = \frac{G}{R + G + B'} b = \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{R} + \mathrm{G} + \mathrm{B}'}$$

R = componente de color rojo (Red)

G = componente de color verde (Green)

B = componente de color azul (Blue)

r = valor normalizado rojo

g = valor normalizado verde

b = valor normalizado azul

Normalización del dorso

$$r_d \frac{R_d}{R_d + G_d + B_d} \qquad g_d = \frac{G_d}{R_d + G_d + B_d} \qquad b_d = \frac{B_d}{R_d + G_b + B_d}$$

R_d = componente rojo del dorso

G_d = componente verde del dorso

B_d = componente azul del dorso

r_d = valor normalizado rojo del dorso

g_d = valor normalizado verde del dorso

b_d = valor normalizado azul del dorso

Sustrato:

Promedio

R_s = componente rojo del sustrato

G_s = componente verde del sustrato

B_s = componente azul del sustrato

$$r\ sustrato = \frac{R}{R+G+B'}\ g\ sustrato = \frac{G}{R+G+B'}\ b\ sustrato = \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{R}+\mathrm{G}+\mathrm{B}'}$$

Normalización del sustrato

$$r_s \frac{R_s}{R_s+G_s+B_s} \qquad g_s = \frac{G_s}{R_s+G_s+B_s} \qquad b_s = \frac{B_{st6}}{R_s+G_s+B_s}$$

Y después se calculó la distancia cromática:

$$D_{rgb} = \sqrt{(r_d - r_s)^2 + (g_d - g_s)^2 + (b_d - b_s)^2}$$

La distancia cromática puede tomar valores entre 0 y $\sqrt{2}$, valores próximos a 0 indican una mayor similitud entre la coloración RGB del dorso y la del sustrato, mientras que valores alejados de 0, indican una mayor diferenciación cromática entre ambos.

Para los análisis de coloración, los individuos se agruparon en dos estadios ontogenéticos (jóvenes y adultos), mientras que el sexo se consideró como un factor independiente. Para evaluar la variación en la distancia cromática de *P. orbiculare* se utilizó un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución normal y función de enlace identidad. La distancia cromática se utilizó como variable dependiente, mientras que el sexo, el estadio ontogenético (juvenil y adulto), la época del año y la población se incluyeron como factores explicativos. Los análisis se realizaron en IBM SPSS Statistics versión 25.

Adicionalmente, se representó gráficamente la relación entre la distancia cromática del dorso respecto al sustrato y las categorías de microhábitat utilizadas por los individuos, para contrastar visualmente los patrones de coloración y uso del microhábitat

Para todos los análisis estadísticos, un valor de $p < 0.05$ se consideró significativo.

RESULTADOS

Uso de hábitat

Se registraron 234 lagartijas de *P. orbiculare,* de los cuales 84 corresponden a San Juan de las Huertas y 150 a Boshindó. En San Juan de las Huertas se registraron 22 hembras jóvenes, 36 hembras adultas, 16 machos jóvenes y 10 machos adultos, mientras en Boshindó 70 hembras jóvenes, 25 hembras adultas, 41 machos jóvenes y 14 machos adultos.

Uso del microhábitat entre poblaciones

En San Juan de las Huertas se observó una distribución heterogénea de los valores de NDVI dentro del área de estudio, con zonas que presentaron valores altos, representados por tonalidades verdes, asociadas con una mayor cobertura vegetal, mientras que los valores bajos se concentraron en áreas representadas por tonalidades amarillas y rojas,

correspondientes a una menor cobertura vegetal (**Fig. 6**). Esta variación espacial muestra un mosaico de diferentes condiciones de cobertura vegetal dentro del polígono de estudio.

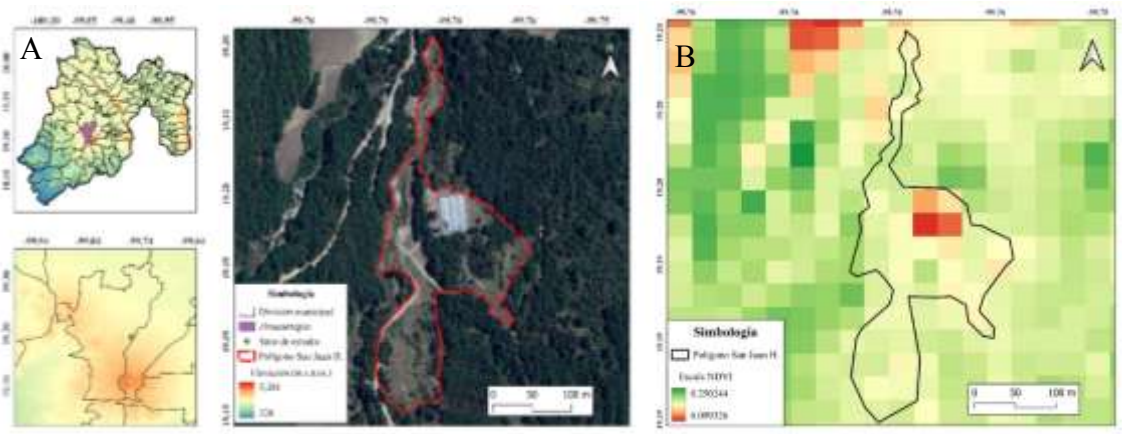


Figura. 6. Polígono satelital de San Juan de las Huertas, Zinacantepec, Estado de México (A). También se incluye la distribución espacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (B). Los valores más altos son representados con los tonos verdes, mostrando mayor cobertura vegetal, y los tonos rojos y amarillos representan valores menores de NDVI, mostrando una baja cobertura vegetal. El contorno negro delimita el área de estudio. (Oviedo-Hernández, en proceso).

En Boshindo se observó igualmente una variación espacial en los valores de NDVI, aunque la distribución de las tonalidades permitió identificar áreas con diferentes niveles de cobertura vegetal dentro del polígono de estudio. Se observaron áreas con valores representadas por tonalidades amarillas y rojas, correspondientes a una menor cobertura vegetal (**Fig**. 7).

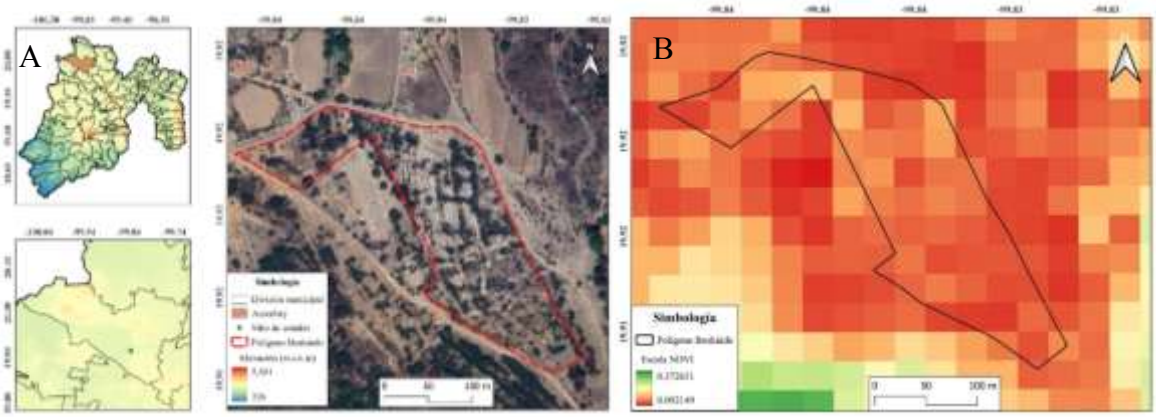


Figura. 7. Polígono satelital de Boshindó, Acambay, Estado de México (A). La distribución espacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (B). Los valores más altos son representados con los tonos verdes, mostrando mayor cobertura vegetal y los tonos rojos y amarillos representan valores menores de NDVI, mostrando una baja cobertura vegetal. El contorno negro delimita el área de estudio (Oviedo-Hernández, en proceso).

El uso de microhábitat en la categoría del suelo difirió significativamente entre poblaciones (χ^2 = 98.795, gl = 2, p = 0.001). El análisis de los residuos estandarizados mostró una asociación negativa en San Juan de las Huertas en el suelo rocoso y una asociación positiva en el suelo herbáceo. Para el caso de Boshindó, presentó un patrón opuesto, el suelo arenoso no mostró diferencias significativas y mostró una asociación positiva en el suelo rocoso (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación en el uso de microhábitat en la categoría suelo, entre las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó de *Phrynosoma orbiculare*. En negritas residuos significativos.

Población	Rocoso	Arenoso	Herbáceo
San Juan	**-8.88**	0.76	**9.03**
Boshindó	**8.88**	-0.76	**-9.03**

El análisis de correspondencia para el suelo explicó el 100% total de la variación observada en las poblaciones, la primera dimensión (Dim 1) obtuvo el 89.3% de la variación y la segunda dimensión (Dim 2) obtuvo el 10.7%, reflejando diferencias en las asociaciones de las categorías con los distintos tipos de microhábitat. En San Juan de las Huertas, los individuos de *P. orbiculare* están presentes principalmente en los microhábitats herbáceos, mientras que en Boshindó mostraron una mayor presencia en los suelos rocosos (**Fig. 8**).

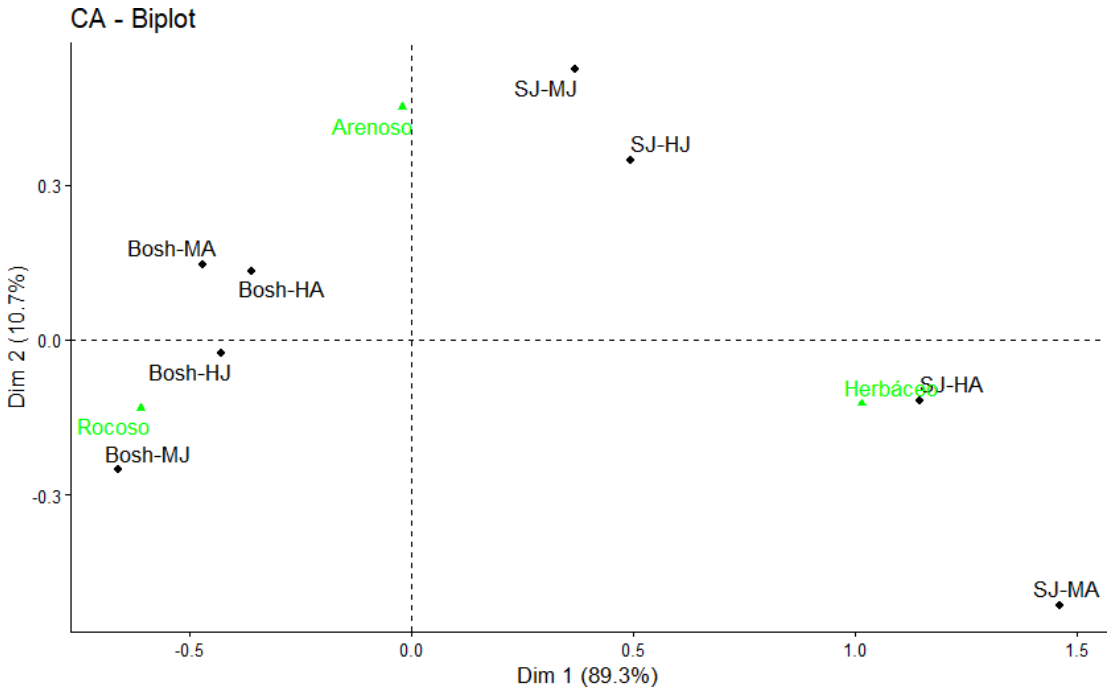


Figura. 8. Análisis de correspondencia entre los grupos ontogenéticos, para la categoría suelo en el uso de microhábitat utilizadas por *Phrynosoma orbiculare* en las poblaciones de San Juan de las Huertas (SJ) y Boshindó (Bosh). Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ).

El uso de microhábitat para la categoría de vegetación presento diferencias significativas (χ^2= 67.622, gl = 3, p = 0.001), mostró una asociación positiva en San Juan de las Huertas en la vegetación pastizal denso, mientras que para hábitat desprovisto de vegetación, pastizal bajo y pastizal medio tuvo una asociación negativa. Por otro lado, Boshindó mostro una asociación negativa en pastizal denso y una asociación positiva para hábitat desprovisto de vegetación, pastizal bajo y pastizal medio (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría vegetación, entre las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó de *Phrynosoma orbiculare*. En negritas residuos significativos.

Población	Desnudo	Pas. bajo	Pas. medio	Pas. Denso
San Juan	**-3.4**	**-4.15**	**-3.28**	**8.19**
Boshindó	**3.4**	**4.15**	**3.28**	**-8.19**

El análisis de correspondencia en la vegetación explicó el 98.6% total de la variación observada en las poblaciones, la primera dimensión (Dim 1) obtuvo el 93.3% de la variación y la segunda dimensión (Dim 2) obtuvo el 5.3%, reflejando diferencias en las asociaciones de las categorías con los distintos tipos de microhábitat (**Fig. 9**).

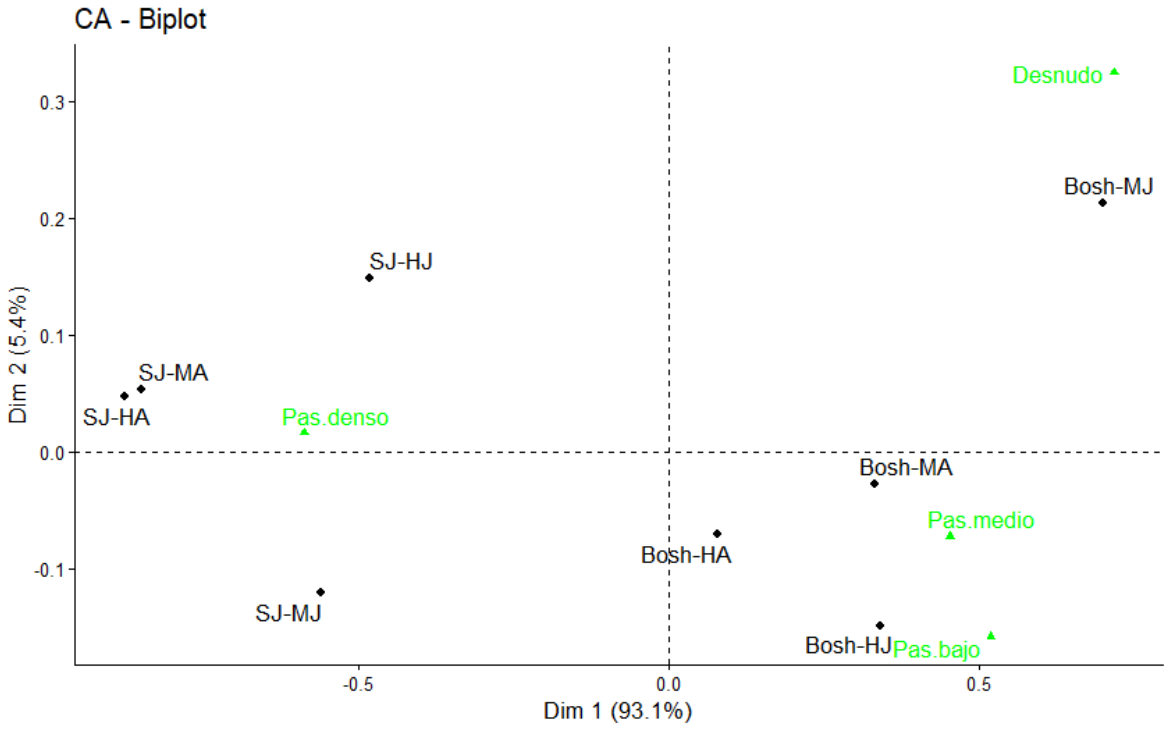


Figura. 9. Análisis de correspondencia entre los grupos ontogenéticos, la categoría vegetación en el uso del microhábitat utilizadas por *Phrynosoma orbiculare* en las poblaciones de San Juan de las Huertas (SJ) y Boshindó (Bosh). Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ).

Uso del microhábitat entre etapas ontogenéticas y sexos

Las categorías sexo-ontogenia en el uso del microhábitat, considerando ambas poblaciones, presentaron diferencias significativas ($\chi^2 = 32.449$, $gl = 6$, $p = 0.001$), de acuerdo con los residuos estandarizados de la prueba de Monte Carlo. Las hembras adultas (HA) se registraron con menor frecuencia en el suelo rocoso y con mayor frecuencia en el suelo herbáceo. En las hembras jóvenes (HJ) se observó una menor frecuencia de uso del suelo herbáceo respecto a la esperada. Por otra parte, los machos jóvenes (MJ) presentaron mayor

frecuencia de registro en los suelos rocosos y una menor frecuencia en suelos herbáceos. En los machos adultos (MA) no se observaron desviaciones importantes respecto a las frecuencias esperadas (**Cuadro 3**) (**Fig. 10)**.

Cuadro 3. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat para la categoría suelo, entre sexo-ontogenia de *Phrynosoma orbiculare*. Se consideraron cuatro categorías ontogénicas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ). En negritas residuos significativos.

Ontogenia	Rocoso	Arenoso	Herbáceo
HA	**-4.01**	-0.20	**4.58**
HJ	1.76	0.82	**-2.68**
MA	-1.12	-0.69	1.85
MJ	**2.89**	-0.24	**-2.94**

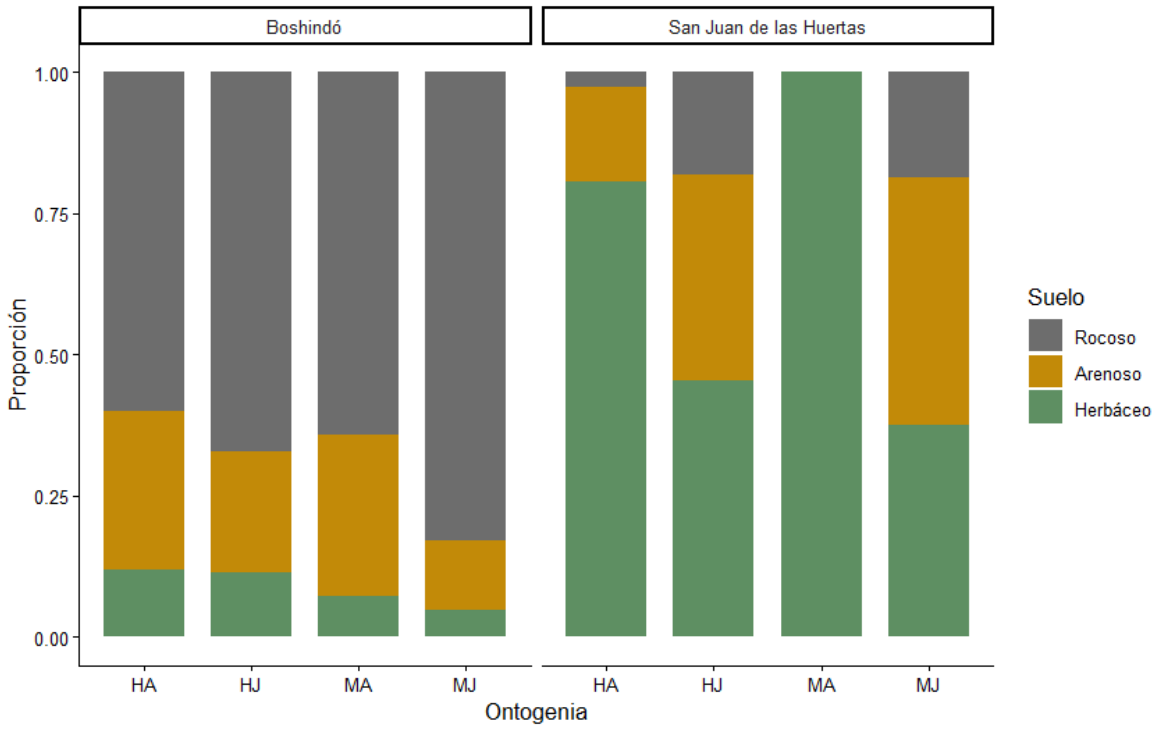


Figura. 10. Proporción del uso de microhábitat en la categoría suelo, por categorías ontogenéticas en las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó de *Phrynosoma orbiculare*. Cada barra representa una proporción de individuos registrados en cada microhábitat de la categoría suelo: rocoso, arenoso y herbáceo. Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA) n= 61, hembras jóvenes (HJ) n= 92, machos adultos (MA) n= 24 y machos jóvenes (MJ) n= 57.

En cuanto al uso del microhábitat en la categoría vegetación, considerando ambas poblaciones, presentaron diferencias significativas (χ^2 = 27.352, gl = 9, p = 0.0016), de acuerdo con los residuos estandarizados de la prueba de Monte Carlo. Las hembras adultas (HA) presentaron una menor frecuencia de registros en pastizal medio y una mayor frecuencia en pastizal denso. En los machos jóvenes (MJ), se observó una mayor frecuencia de registros en vegetación desnuda y una menor frecuencia en pastizal denso. En las hembras jóvenes (HJ) y machos adultos (MA) no se observaron desviaciones significativas respecto a las frecuencias esperadas (**Cuadro 4**) (**Fig. 11**).

Cuadro 4. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat para la categoría vegetación, entre sexo-ontogenia de *Phrynosoma orbiculare*. Se consideraron cuatro categorías ontogénicas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ). En negritas residuos significativos.

Ontogenia	Desnudo	Pas. Bajo	Pas. Medio	Pas. Denso
HA	-1.98	-1.68	**-2.26**	**4.46**
HJ	-0.02	1.34	0.96	-1.83
MA	-0.52	-0.94	0.25	0.90
MJ	**2.41**	0.85	1.05	**-3.10**

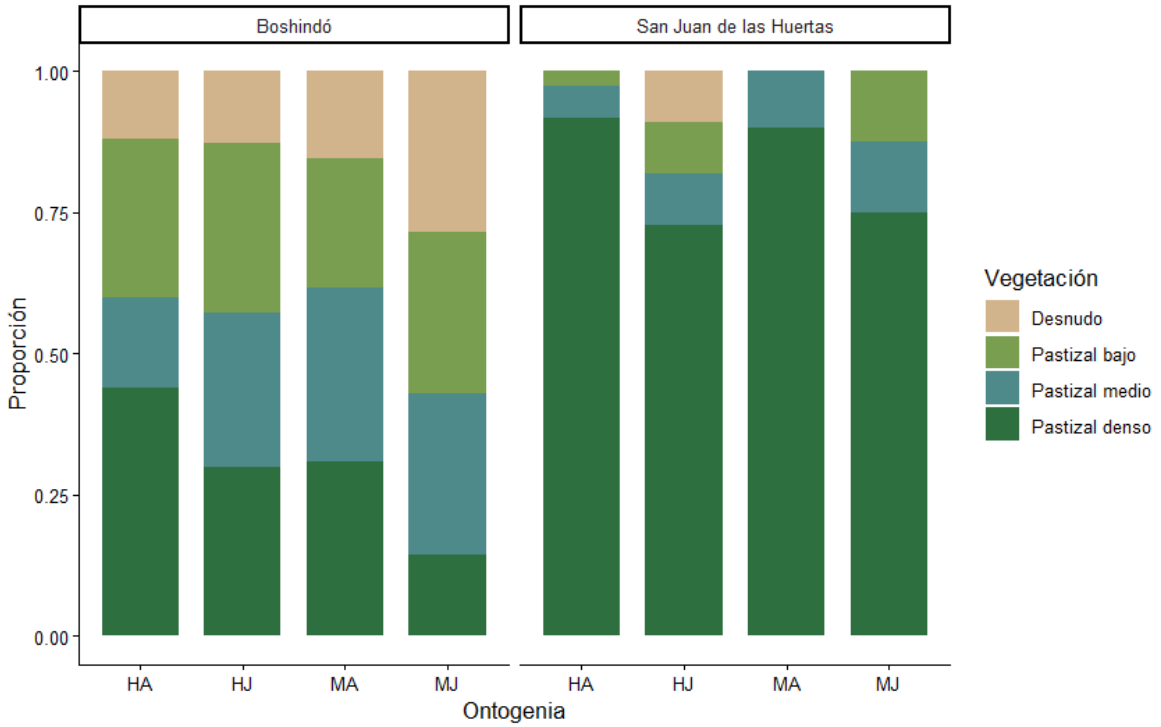


Figura. 11. Proporción del uso de microhábitat en la categoría suelo, por categorías ontogenéticas en las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó de *Phrynosoma orbiculare*. Cada barra representa una proporción de individuos registrados en cada microhábitat de la categoría vegetación: desnudo, pastizal bajo, pastizal medio y pastizal denso. Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA) n= 61, hembras jóvenes (HJ) n= 92, machos adultos (MA) n= 24 y machos jóvenes (MJ) n= 57.

Uso del microhábitat en San Juan de las Huertas

Se observaron diferencias en el uso de microhábitat en la categoría suelo, por estadio ontogénico en San Juan de las Huertas ($\chi^2 = 19.051$, $gl = 6$, $p = 0.0045$). De acuerdo con los residuos estandarizados, los machos adultos (MA) y las hembras adultas (HA) mostraron un mayor uso en la vegetación herbácea, a diferencia de los machos jóvenes (MJ) y hembras jóvenes (HJ) que mostraron una asociación negativa en la vegetación herbácea (**Cuadro 5**). El análisis de correspondencia para el suelo de San Juan de las Huertas mostró un total del 100% de la variación total en el uso de microhábitat de San Juan de las Huertas, el Dim 1 = 98.48% y Dim 2 = 1.52% (**Fig. 12**)

Cuadro 5. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría suelo, en etapas ontogénicas de la población de San Juan de las Huertas de *Phrynosoma orbiculare.* Se consideraron cuatro categorías ontogénicas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y m achos jóvenes (MJ). En negritas residuos significativos.

Ontogenia	Rocoso	Arenoso	Herbáceo
HA	-1.82	-1.53	**2.52**
HJ	1.61	1.43	**-2.30**
MA	-1.09	-1.95	**2.45**
MJ	1.40	1.93	**-2.62**

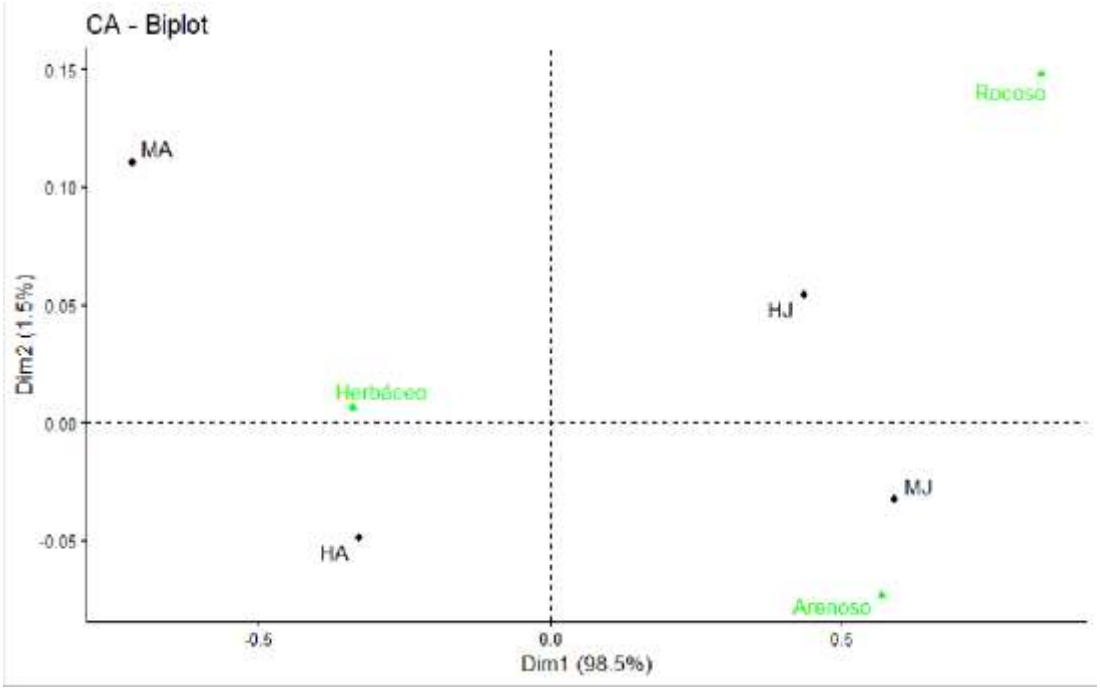


Figura. 12. Análisis de correspondencia de San Juan de las Huertas entre los grupos ontogenético, del uso de microhábitats en la categoría suelo, utilizadas por *Phrynosoma orbiculare*. Categorías ontogenéticas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ).

No se observaron diferencias en el uso de microhábitat en la categoría vegetación, por estadio ontogénico en San Juan de las Huertas ($\chi^2 = 9.8564$, $gl = 9$, $p = 0.3474$). solo se registró una asociación positiva en el uso de vegetación desnuda para las hembras jóvenes de acuerdo con los residuos estandarizados (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría vegetación, en etapas ontogénicas de la población de San Juan de las Huertas de *Phrynosoma orbiculare.* Se consideraron cuatro categorías ontogénicas: hembras adultas (HA), hembras jóvenes (HJ), machos adultos (MA) y machos jóvenes (MJ). En negritas residuos significativos.

Ontogenia	Desnudo	Pas. Bajo	Pas. Medio	Pas. Denso
HA	-1.24	-1.06	-0.8	1.77
HJ	**2.40**	0.72	0.15	-1.55
MA	-0.53	-0.85	0.20	0.60
MJ	-0.69	1.23	0.67	-0.99

Uso del microhábitat en Boshindó

No se encontraron diferencias significativas en el uso de microhábitat en las categorías suelo (χ^2 = 5.4637, *gl* = 6, *p* = 0.4947) y vegetación (χ^2 = 12.218, *gl* = 9, *p* = 0.2001), entre las etapas ontogenéticos en la población de Boshindó. Los residuos estandarizados no registraron asociaciones consistentes entre las categorías ontogénicas y los microhábitats.

Uso del microhábitat entre la época de estiaje y de lluvia

No se encontraron diferencias significativas en el uso de microhábitats en la categoría suelo en las épocas de lluvia y sequía considerando ambas poblaciones en conjunto (X = 3.735, *gl*= 2, *p* = 0.1522). Ningún microhábitat contribuyó de manera significativa a las diferencias observadas, según los residuos estandarizados (**Cuadro 7).**

Cuadro 7. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría suelo, en las épocas de lluvia y sequía para ambas poblaciones de *Phrynosoma orbiculare.*

Época	Rocoso	Arenoso	Herbáceo
Lluvia	0.21	-1.75	1.37
Estiaje	-0.21	1.75	-1.37

De la misma manera, no se encontraron diferencias significativas en el uso de microhábitats en la categoría vegetación en las épocas de lluvia y sequía considerando ambas poblaciones en conjunto (X^2 = 4.69, *gl* = 3, *p* = 0.2062). Ningún microhábitat contribuyó de manera significativa a las diferencias observadas, según los residuos estandarizados (**Cuadro 8**).

Cuadro 8. Residuos de la prueba de chi-cuadrado con simulación de Monte Carlo para la comparación del uso de microhábitat en la categoría vegetación, en las épocas de lluvia y se quía para ambas poblaciones de *Phrynosoma orbiculare.*

Época	Desnudo	Pas. bajo	Pas. medio	Pas. Denso
Lluvia	-1.9	1.38	0.05	0.07
Estiaje	1.9	-1.38	-0.05	0.07

En San Juan de las Huertas, entre la época de lluvia y la de estiaje, no se encontraron diferencias significativas en el uso de microhábitat suelo (X = 5.6642, gl = 2, p = 0.0669) y la vegetación (X = 6.7562, gl = 3, p = 0.06749). En Boshindó, entre épocas de lluvia y sequía, no se encontraron diferencias significativas en el uso de microhábitat en las categorías de suelo (X = 2.5573, gl = 2, p = 0.3073) y vegetación (X^2 = 3.4473, gl = 3, p = 0.3298). Ningún microhábitat contribuyó de manera significativa a los resultados esperados, de acuerdo con los residuos estandarizados

Coloración

Se analizaron un total de 214 fotografías para evaluar la distancia cromática entre la coloración dorsal de *P. orbiculare* y el sustrato; el análisis del GLM no mostró diferencias significativas en la distancia cromática por sexo, estadio ontogenético y mes de captura (p >0.05). El factor población mostró un efecto significativo (p = 0.033), lo que sugiere que los individuos de las poblaciones difieren en la distancia cromática. Los individuos de Boshindó (0.0275 ± 0.0226 DE; IC 95%: 0.0239-0.0313; n = 146) presentaron un valor de la distancia cromática menor que en San Juan de las Huertas (0.0387 ± 0.0260 DE; IC 95%: 0.0325-0.0451; n = 68), lo que demuestra que en Boshindó los individuos de *P. orbiculare* son más similares al sustrato que en San Juan de las Huertas (**Figs. 13, 14 y 17) (Cuadro 6)**.

Ninguna de las interacciones entre los factores evaluados fue significativa (p > 0.05), lo que indica que el efecto de la población sobre la distancia cromática no depende del sexo, del estadio ontogenético ni del mes del muestreo (**Figs. 15 y 16**) (**Cuadro 6**).

Cuadro 9. Variación de la distancia cromática de *Phrynosoma orbiculare* en relación con el sexo, estadio ontogenético, mes de captura y la población. En negrita, el valor de p significativo.

Variación de la distancia cromática de *Phrynosoma orbiculare* en relación con el sexo, estadio ontogenético, mes de captura y la población.

Variable dependiente: Distancia cromática

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	.015[a]	19	.001	1.437	.113
Intersección	.027	1	.027	47.705	.000
SEXO	.000	1	.000	.185	.668
ESTADIO	.001	1	.001	1.258	.263
POBLACIÓN	**.004**	**1**	**.002**	**3.457**	**.033**
Época	.000	1	.000	.424	.655
SEXO * ESTADIO	.000	1	.000	.687	.408
SEXO * POBLACIÓN	6.278E-6	1	6.278E-6	.011	.916
SEXO * Época	.001	2	.000	.878	.417
ESTADIO * POBLACIÓN	3.335E-5	1	3.335E-5	.059	.809
ESTADIO * Época	.001	2	.001	1.294	.277
LUGAR * Época	.001	1	.001	2.050	.154
SEXO * ESTADIO * POBLACIÓN	.001	1	.001	1.966	.162
SEXO * ESTADIO * Época	1.219E-5	1	1.219E-5	.022	.884
SEXO * POBLACIÓN* Época	.001	1	.001	1.731	.190
ESTADIO * POBLACIÓN * Época	.001	1	.001	1.012	.316
SEXO * ESTADIO *POBLACIÓN * Época	4.688E-5	1	4.688E-5	.083	.774
Error	.110	194	.001		

Total	.334	214			
Total corregido	.125	213			

a. R al cuadrado = .123 (R al cuadrado ajustada = .038)

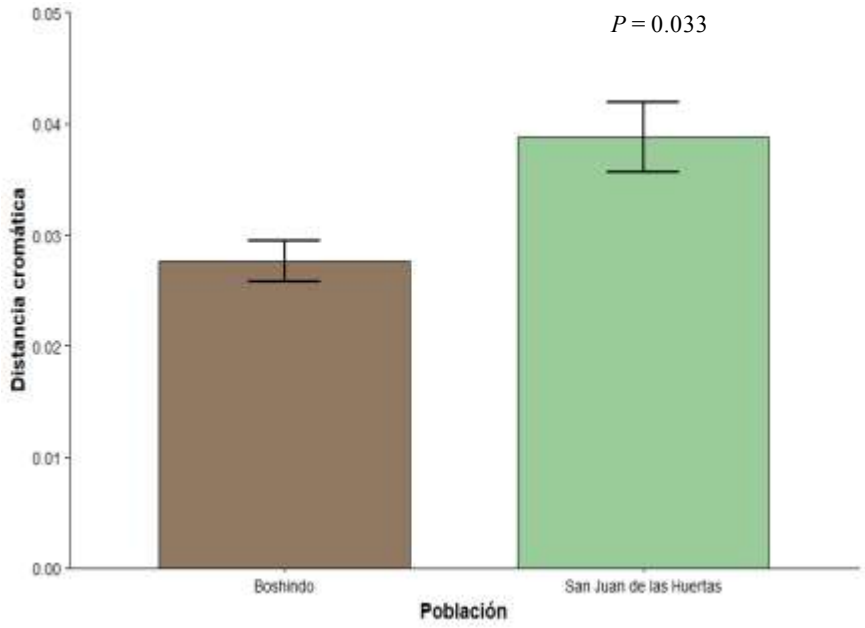


Figura. 13. Comparación de la distancia cromática (D_{rgb}) entre las poblaciones de Boshindó y San Juan de las Huertas de *Phrynosoma orbiculare*.

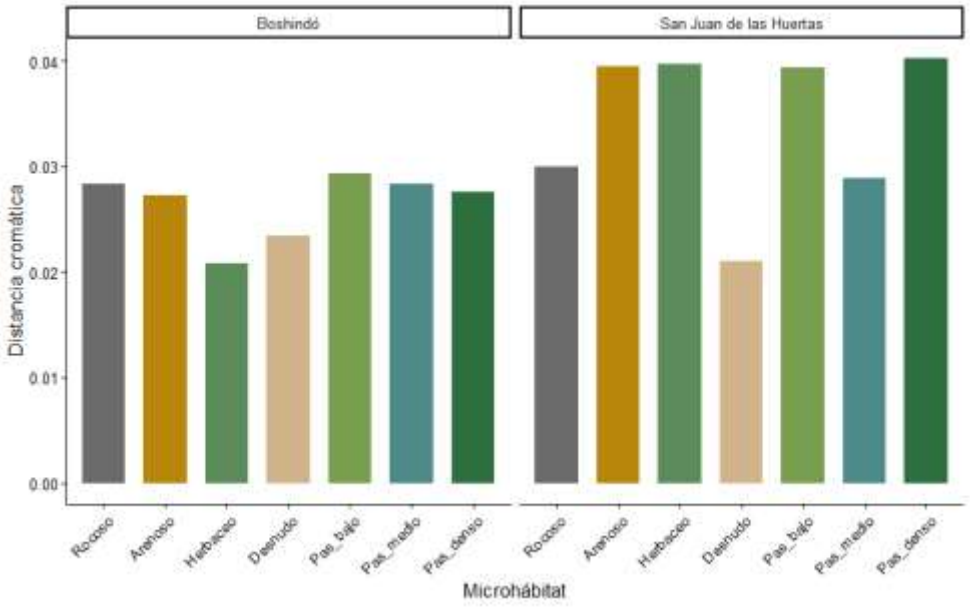


Fig. 14. Distancia cromática promedio (D_{rgb})de *Phrynosoma orbiculare* según el microhábitat utilizado en Boshindó ySan Juan de las Huertas.

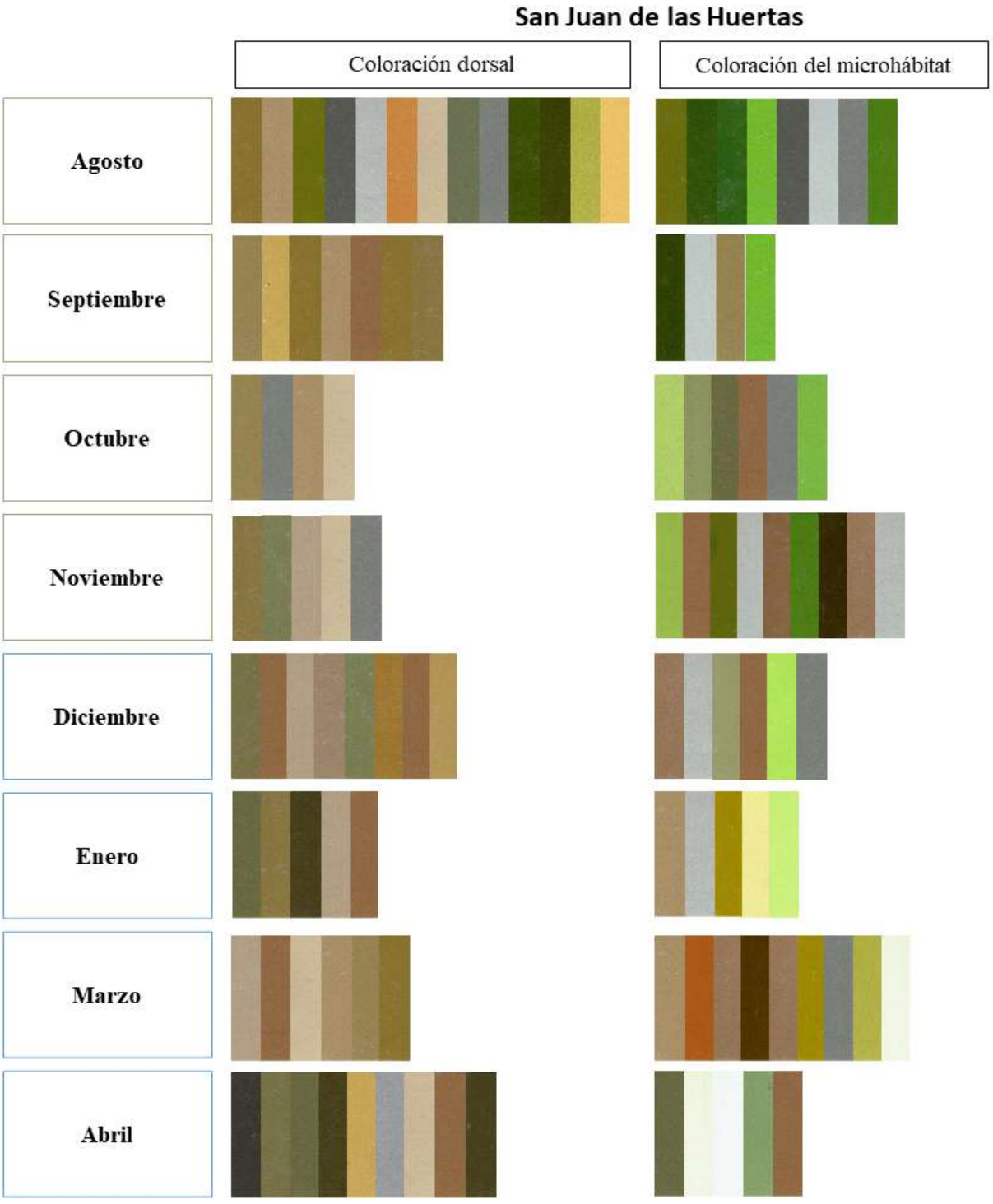


Figura. 15. Comparación de la coloración dorsal y del microhábitat de *Phrynosoma orbiculare*, según el catálogo de colores de Köhler (2012), en la población de San Juan de las Huertas.



Figura. 16. Comparación de la coloración dorsal y del microhábitat de *Phrynosoma orbiculare*, según el catálogo de colores de Köhler (2012), en la población de Boshindó.





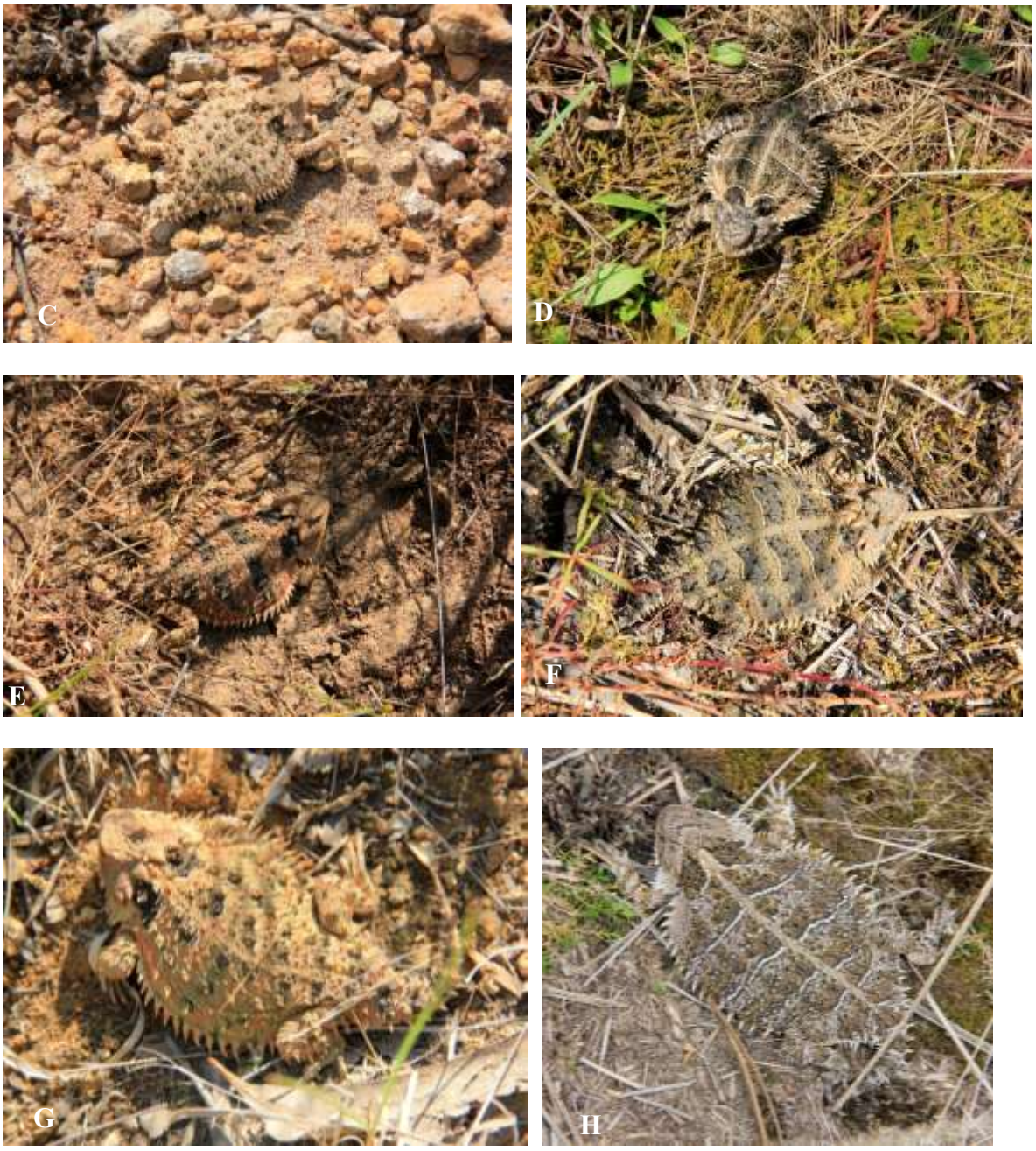


Figura. 17. Comparación de la coloración dorsal de *Phrynosoma orbiculare* entre las dos poblaciones: Boshindó se muestra: hembra con LHC 62 mm, octubre 2025 (A), macho con LHC 44 mm, octubre 2026 (C), hembra con LHC 69 mm, octubre 2025 (E), macho con un LHC 70 mm abrir 2026 (G) y en San Juan de las Huertas, se muestra: hembra con LHC 84 mm, abril 2026 (B), hembra con LHC 61mm, abril 2026 (D), una Hembra con LHC 86 mm, marzo 2026 (F) y hembra con un LHC 85 mm, abril 2026 (H).

DISCUSIÓN

Uso de microhábitat

Los resultados obtenidos del estudio de *P. orbiculare* mostraron que el uso de microhábitat no fue homogéneo, ya que varió entre poblaciones y por ontogenia. Esto sugiere que la selección de microhábitats puede estar influenciada por factores ambientales y biológicos, como la búsqueda de alimento, la depredación, la temperatura y la termorregulación (Martínez-Nova, 2019; Rojas-Hernández, 2022).

Uso del microhábitat entre poblaciones

En cuanto al componente del suelo, se encontraron diferencias significativas entre las poblaciones, con un mayor uso del suelo herbáceo en San Juan de las Huertas y del suelo rocoso en Boshindó, mientras que el suelo arenoso no mostró diferencias significativas. Esta diferenciación podría estar relacionada con las características físicas y estructurales de los sustratos disponibles en cada localidad. El suelo constituye una superficie directamente utilizada por las lagartijas para desplazarse, permanecer expuestas a la radiación solar y establecer contacto con el sustrato, por lo que sus características pueden modificar las condiciones disponibles para actividades como la termorregulación y el desplazamiento (Hernández-Navarrete, 2018). En *P. orbiculare*, se ha documentado el uso de diferentes tipos de suelo a lo largo del día, asociado con cambios en las condiciones ambientales y las necesidades de los individuos (Hernández-Navarrete, 2018).

Las diferencias en el uso de microhábitat de las poblaciones sugieren que en *P. orbiculare* existe variación en la forma en que utilizan los recursos disponibles. Estas variaciones podrían estar asociadas a las diferencias en las condiciones como la precipitación, la altitud y la temperatura anual de cada sitio o a las necesidades biológicas, como la alimentación en función de la cantidad de recursos tróficos impuesta por las condiciones ambientales (Barrows y Allen, 2009; Martínez-Nova, 2019; Rojas Hernández, 2022). En San Juan de las Huertas las lagartijas utilizaron con mayor frecuencia los pastizales con vegetación densa.

En este sentido, durante los muestreos se observaron mayor diversidad de insectos en las áreas de vegetación media y densa, lo que puede apoyar la mayor presencia de lagartijas en dichos microhábitats. Por ejemplo, Eifler et al. (2012) observaron que el forrajero de *P. cornutum* está relacionado con las características de la vegetación y la ubicación de las colonias de hormigas y Barrows y Allen (2009) registraron que la abundancia relativa de *P. mcallii* se relaciona con la abundancia relativa de hormigas.

En contraste, en la población de Boshindó, *P. orbiculare* utilizó con mayor frecuencia hábitats desprovistos de vegetación. Una posible respuesta a este hallazgo es que, dada a la baja diversidad de insectos observada (en comparación con San Juan de las Huertas), las lagartijas optan por una termorregulación más efectiva, es decir, el hacer uso de sitios más abiertos donde la incidencia solar aumenta la temperatura del sustrato. Esta hipótesis cobra sentido debido a los hallazgos de Suarez-Rodríguez (2014) donde registró (para esta misma población) una estrategia de termorregulación por medio de la tigmotermia.

Nuestros resultados sugieren que las diferencias entre poblaciones están relacionadas con la variación en la estructura de la cobertura vegetal y con la disponibilidad local de recursos alimenticios. Sin embargo, debido a que en el presente estudio la disponibilidad y abundancia de presas no fueron evaluadas, así como la ecología térmica, no es posible aseverar las hipótesis expuestas, lo cual abre oportunidades para la realización de estudios que arrojen luz entorno a lo aquí expuesto.

Aunque se encontraron diferencias en el uso de microhábitat entre las poblaciones, cada una presentó una distribución asociada con las características estructurales ajustado a su entorno. Esta interpretación es consistente con los hallazgos obtenidos en las mismas poblaciones, donde se registraron tasas similares de supervivencia y fecundidad (Oviedo-Hernández, en proceso). Lo anterior, indica un desempeño demográfico comparable entre ambas poblaciones pese a las diferencias en la composición del hábitat. En este sentido, *P. orbiculare* puede presentar características ecológicas y conductuales relacionadas con la reproducción, la dieta y las estrategias antidepredatorias, las cuales podrían influir en su uso del hábitat. Mientras que el uso del microhábitat puede presentar variaciones de acuerdo con las condiciones locales. Por ello, las diferencias encontradas entre poblaciones podrían estar

relacionadas con las disponibilidad y composición del sustrato, la cobertura vegetal y los lugares que pueden ser utilizados como refugios.

Estas diferencias también podrían estar relacionadas con la forma en que los individuos utilizan el hábitat. En este sentido, Anderson et al. (2017) observaron que *P. cornutum* concentra sus actividades principalmente en áreas de suelo desnudo y vegetación herbácea, incluyendo sitios con pasto y pequeñas piedras, en Blue Mountain Peak Ranch. Este patrón sugiere que la disponibilidad y configuración de los elementos presentes en el microhábitat podrían influir en los sitios utilizados por los individuos, los autores señalaron que algunas características relacionadas con el desplazamiento y la estructura de la vegetación podrían limitar el movimiento. Newbold (2005) encontró limitación en la movilidad de *Phrynosoma platyrhinos* cuando se encuentran en el pastizal denso, debido a la forma ancha y aplanada de su cuerpo. Para los individuos de Boshindó es más factible usar áreas con vegetación escasa, esto podría estar relacionado con la alimentación pues sus principales presas suelen ser granívoros y forrajeadores de las semillas del pasto, que suelen estar en áreas con vegetación escasa (Hut & Germano, 2015). Por lo anterior, la estrategia de forrajero de esta lagartija es "sentarse y esperar", gracias a la selección natural que ha favorecido un cuerpo espinoso, su coloración y coloración críptico para evitar sus depredadores, en comparación con otras especies de reptiles con un cuerpo en forma grácil y movimientos rápidos para huir (Dumas, 1964; Pianka & Parker, 1975).

En contraste, los individuos de San Juan de las Huertas utilizaron con mayor frecuencia la vegetación densa. Este patrón podría estar relacionado con una mayor disponibilidad de refugios en la vegetación densa, lo que potencialmente reduciría la exposición de los individuos ante los depredadores. Sin embargo, dado que la presión de depredación no fue evaluada directamente, esta explicación debe considerarse como una posible hipótesis asociada con el patrón observado.

Estas diferencias también podrían estar asociadas a la temperatura ambiental, debido a que la cobertura vegetal puede desempeñar un papel importante las lagartijas, ya que proporciona áreas con sombra y refugios térmicos que permiten reducir la explosión a temperaturas levadas. Tucker et al. (2023) han demostrado que en *P. cornutum*, que los arbustos y la

vegetación le puede ofrecer condiciones térmicas más favorables que las áreas abiertas, sobre todo en las horas centrales del día.

En este sentido, las diferencias encontradas en el uso de microhábitat de *P. orbiculare* podrían explicarse por las distintas estrategias por el uso de hábitat, relacionadas con el sustrato, la cobertura vegetal y las condiciones ambientales de cada localidad. Ya que la estructura de la vegetación puede modificar la disponibilidad de áreas abiertas, sitios de refugio y superficies con diferentes exposiciones a la radiación solar. Aunque, no se evaluaron estos parámetros, deben contemplarse como explicaciones potenciales de las diferencias entre poblaciones.

Uso del microhábitat entre estadio ontogenético

Las diferencias registradas en el uso del microhábitat entre estadios ontogenéticos sugieren que los requerimientos ecológicos de *P. orbiculare* varían según el crecimiento de los individuos. Se ha demostrado que los individuos jóvenes de *P. orbiculare* recorren mayores distancias en comparación con los adultos (Rojas Hernández, 2022). Estas diferencias pueden estar relacionadas con factores que influyen en cómo los individuos utilizan el microhábitat, como las necesidades energéticas, el comportamiento y la condición reproductora de los individuos. Las diferencias ontogenéticas en el uso del microhábitat no fueron consistentes entre poblaciones, ya que se detectaron diferencias en San Juan de las Huertas, pero no en Boshindó. Ya que los jóvenes por su menor tamaño corporal pueden presentar requerimientos distintos en la alimentación, termorregulación y protección frente a los depredadores, lo que puede influir en la selección del microhábitat. Por el contrario, los adultos requieren mayores demandas energéticas asociadas con la reproducción. Lo anterior, se ha observado en individuos de *Lacerta bilineata* donde jóvenes mostrando que esta selección sustratos con superficies de calentamiento rápido y es ahí donde toman el sol con mayor frecuencia, mientras que los adultos prefieren superficies de madera y evitan las agrupaciones de zarzamora como sitios de asolamiento (Meek & Luca Luiselli, 2022).

La mayor frecuencia de jóvenes de *P. orbiculare* se registró en hábitat desnudo y en pastizal medio en Boshindó. Estas coberturas se caracterizan por una mayor incidencia solar y

condiciones favorables para la actividad de los artrópodos (i. e., las hormigas que son fundamentales en la dieta de esta lagartiaj). Por lo que el uso de microhábitat puede estar relacionado con la combinación de condiciones térmicas y oportunidades de forrajeo que ofrecen a los individuos jóvenes mayor desarrollo y aumento de tamaño, influyendo en su capacidad de locomoción, volviéndose más rápidos y móviles (Luna Kamyshev, 2012). La mayor presencia de los individuos jóvenes en pastizales desnudos y medios podría estar relacionada con las características estructurales de la cobertura vegetal, como se ha documentado en *P. platyrhinos* por Newbold (2005); este autor registró que la vegetación densa reduce considerablemente la velocidad de carrera de los individuos adultos y jóvenes, en contraste con las superficies desnudas.

Los adultos tienden a utilizar pastizales más densos, lo cual, es consistente con lo registrado por Carnalla Benítez (2024), quien observó que *P. orbiculare* se encuentra asociado con áreas donde existe cobertura de pastizal, pero con una proporción considerable de suelo visible, lo que podría facilitar el desplazamiento y huida de los individuos ante la presencia de depredadores. Los machos suelen estar en lugares más expuestos y las hembras en lugares menos expuestos, ya que tienen diferentes necesidades fisiológicas y termorreguladoras. Estas diferencias pueden estar estrechamente relacionadas con el estado reproductor (Eifler, 2012). Los machos tienden a modificar su uso de hábitat durante la temporada de apareamiento y luego regresan a áreas con menor vegetación, ya que estos lugares ofrecen mayor capacidad de movimiento y visibilidad, mientras que las hembras preñadas tienden a ocultarse más debido al compromiso con los neonatos en desarrollo (Lahti et al., 2010).

Uso del microhábitat entre épocas de estiaje y lluvia

No se encontraron diferencias significativas en el uso del microhábitat entre las épocas de lluvia y estiaje, tanto para la categoría suelo como para la vegetación, al considerar ambas poblaciones en conjunto. Este patrón también se mantuvo al analizar por separado San Juan de las Huertas y Boshindó, lo que indica que, durante el periodo de estudio, no se detectaron cambios significativos en el uso de los componentes del microhábitat entre ambas épocas. La

ausencia de diferencias podría indicar que *P. orbiculare* utiliza los diferentes componentes del microhábitat disponibles independientemente de la época del año. Esta estabilidad podría estar relacionada con la disponibilidad de los mismos tipos de sustrato y cobertura durante ambas épocas, lo que permitiría mantener condiciones adecuadas para el desarrollo de sus actividades.

En contraste con estos resultados, Siliceo-Cantero et al. (2016) encontraron en *Sceloporus utiformis* que el uso del microhábitat estuvo relacionado con variables ambientales como la temperatura, la humedad y la cobertura vegetal. De manera similar, Lahti, Beck y Cottrell (2010) encontraron variación estacional en el uso del microhábitat de *Phrynosoma douglasii*, lo que indica que los cambios entre estaciones pueden modificar la utilización de los sitios disponibles. Estas diferencias entre estudios sugieren que la respuesta al cambio estacional puede depender de las condiciones particulares de cada localidad y de la magnitud de las variaciones ambientales. En las lagartijas, los espacios abiertos pueden favorecer el calentamiento corporal mediante una mayor exposición a la radiación solar, mientras que la vegetación puede proporcionar sombra y refugio térmico durante periodos de temperaturas elevadas. Por lo tanto, las variaciones estacionales en la disponibilidad de superficies expuestas, cobertura vegetal y condiciones térmicas podrían modificar el uso del microhábitat, como se ha registrado en *S. utiformis* y *P. douglasii*. Sin embargo, en el presente estudio estas variaciones no mostraron diferencias significativas en el uso de los componentes del microhábitat entre las épocas evaluadas.

Coloración dorsal

Los resultados obtenidos demuestran que la variación en la distancia cromática de *P. orbiculare* no detecto un efecto significativo en los factores sexo, mes de captura y estadio ontogenético. Contrario a lo propuesto por Oviedo-Hernández (2024), quien sugiere que los individuos jóvenes podrían presentar limitaciones en el aprovechamiento de la crispis, debido a mayores requerimientos de desplazamiento para la termorregulación y adquisición de

recursos necesarios para el desarrollo ontogenético, ya que el camuflaje depende en gran medida de permanecer inmóvil (Fresnillo et al. 2016)

Se registraron diferencias significativas en la distancia cromática entre poblaciones y los individuos fueron más precisos en coloración en la población de Boshindó. En San Juan de las Huertas hay mayor cobertura vegetal; hay pastizales muy densos donde es fácil esconderse; la heterogeneidad de hábitat puede reducir la presión por mantener una coloración estrechamente asociada a solo un tipo de sustrato. Por el contrario, Boshindó presentó una mayor frecuencia en suelos rocoso y hábitats desprovistos de vegetación, por lo que los individuos se encuentran en lugares más descubiertos, características que pueden promover una mayor similitud con el sustrato.

Los resultados concuerdan con el estudio de Tong et al. (2019) sobre las diferencias en la coloración dorsal entre poblaciones de *Prynocepalus veriscolor* asociadas al color predominante del sustrato. Las poblaciones con individuos de coloraciones más oscuras habitan sustratos oscuros, mientras que las poblaciones con individuos de coloraciones más claras se encuentran distribuidas en sustratos más claros. Las diferencias también pueden deberse a la cantidad de radiación solar absorbida por los individuos, debido a que las superficies con menor reflectancia tienden a absorber una mayor proporción de engería solar y transformarla en calor (Pianka & Vitt, 2003).

Las diferencias en el uso del microhábitat entre San Juan de las Huertas y Boshindó podrían relacionarse con la variación en la coloración dorsal observada entre ambas poblaciones. Ya que en Boshindó los individuos estuvieron más frecuentemente en suelos rocos y hábitats desprovistos de vegetación, por el contrario, en San Juan de las Huertas los individuos mostraron preferencias a los suelos herbáceos y vegetación densa. Estas diferencias en el uso del microhábitat son unas de las características que pueden modificar la coloración de los individuos, por la presión de las características del color a un estrato vegetal, en el caso de San Juan de las Huertas se observó una mayor heterogeneidad espacial en los valores de NDVI, esto podría contribuir a reducir el contraste visual con el entorno y favorecer el camuflaje (Borras Guevara, 2008).

La menor distancia cromática observada en Boshindó indica una mayor similitud entre la coloración dorsal y el sustrato inmediato, lo que potencialmente podría contribuir a la cripsis. Esta mayor similitud cromática se presenta en un sitio que, de acuerdo con la distribución espacial del NDVI, muestra condiciones de cobertura vegetal diferentes a las observadas en San Juan de las Huertas. Las diferencias en la estructura y distribución de la cobertura vegetal entre ambas localidades podrían generar distintos contextos visuales para los individuos y sus sustratos, aunque la relación entre el NDVI y la distancia cromática no fue evaluada estadísticamente en este estudio.

La coloración de la línea dorsal de *P. orbiculare* podría estar influenciada por las diferencias en la percepción visual de los colores de sus predadores en los sitios de estudio, entre los que se encuentran aves como *Corvus corax*, mamíferos como *Canis latrans* o reptiles como *Crotalus* sp. Estas diferencias en percepción visual podrían influir en la detectabilidad de los individuos y, por lo tanto, en la variación de las proporciones de los componentes rojo, verde y azul de la coloración dorsal. Esta relación entre la coloración y percepción visual de los depredadores ha sido estudiada en otras especies del género, como se estudió en *P. cornutum* (Rhoads & Williams, 2023; Borras, 2008). Otra explicación de las diferencias de la distancia cromática entre las poblaciones puede deberse a la generación de diferentes tipos de carotenoides respecto a la dieta de cada población (Borras Guevara, 2008), sin embargo, debido a que la dieta no fue evaluada en el presente estudio, no es posible determinar si este mecanismo contribuye a las diferencias observadas entre poblaciones. En este sentido, la menor distancia cromática registrada en Boshindó indica una mayor similitud entre la coloración dorsal de los individuos y el sustrato inmediato. Esta correspondencia podría reducir su detectabilidad visual por parte de potenciales depredadores y, por tanto, favorecer la cripsis. En contraste, la mayor distancia cromática registrada en San Juan de las Huertas indica una menor similitud entre la coloración dorsal y el sustrato. No obstante, estas diferencias no necesariamente implican variaciones en la eficacia de la cripsis, ya que esta depende del sistema visual del receptor y de las condiciones ambientales bajo las cuales ocurre la detección. Por ello, serían necesarios estudios que incorporen modelos de percepción visual de los potenciales depredadores, así como información sobre las condiciones ambientales y la dieta, para evaluar los mecanismos responsables de las diferencias cromáticas observadas entre poblaciones. Boshindó mostró mayor

correspondencia cromática con el sustrato, representando mayor similitud entre la coloración del individuo y el sustrato. Estos resultados concuerdan con un estudio en *Phrynosoma modestum*, demostrando que las lagartijas son más difíciles de encontrar entre las rocas, y que estos se hacen pasar por rocas, teniendo una mayor eficacia en el camuflaje contra sus predadores con visión dicromática (Cooper et al., 2012).

La alteración y pérdida del hábitat pueden modificar la disponibilidad y distribución de los recursos y condiciones ambientales que utilizan las especies. En *P. orbiculare*, el uso del hábitat y del microhábitat constituye un aspecto relevante para la conservación de sus poblaciones, particularmente debido a la variación en las condiciones de cobertura vegetal y sustrato que pueden encontrarse dentro de las localidades (Martínez-Nova, 2019). Asimismo, se ha señalado que el cambio de uso de suelo puede modificar de manera importante el hábitat disponible para esta especie (Méndez de la Cruz et al., 2003). En este contexto, los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias en el uso de los componentes del suelo y la vegetación entre las poblaciones, así como condiciones ambientales contrastantes entre las localidades. Por lo tanto, los futuros esfuerzos de conservación de *P. orbiculare* deberían considerar la heterogeneidad de los microhábitats presentes dentro de las poblaciones, además de la superficie o extensión del hábitat, procurando mantener la diversidad de condiciones de suelo y cobertura vegetal disponibles para la especie.

CONCLUSIONES

- El uso del microhábitat de *P. orbiculare* presentó variación entre poblaciones y grupos sexo-ontogenéticos. En San Juan de las Huertas se observaron diferencias entre grupos. Por el contrario, Boshindó no presentó diferencias significativas en el uso de microhábitat en las categorías suelo y vegetación
- La época del año no mostró un efecto significativo sobre el uso de los componentes del microhábitat de *Phrynosoma orbiculare*. Tanto el suelo como la vegetación presentaron patrones de uso similares entre la época de lluvia y la de estiaje, incluso al analizar por separado las poblaciones de San Juan de las Huertas y Boshindó.

- La distancia cromática entre la coloración dorsal de los individuos y el sustrato inmediato difirió entre poblaciones, con una mayor similitud cromática en Boshindó que en San Juan de las Huertas.

REFERENCIAS

Abáigar, T., Cano, M., & Ensenyat, C. (2013). Habitat preference of reintroduced dorcas gazelles (*Gazella dorcas neglecta*) in North Ferlo, Senegal. *Journal of Arid Environments*, 97, 176-181.

Anderson, W. M., Wester, D. B., Salice, C. J., & Perry, G. (2017). Habitat utilization by the Texas horned lizard (*Phrynosoma cornutum*) from two sites in central Texas. *Journal of North American Herpetology*, 2017(1), 28-33.

Angilletta Jr, M. J., Niewiarowski, P. H., & Navas, C. A. (2002). The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of thermal Biology*, *27*(4), 249-268.

Audesirk, T., Audesirk, G., & Byers, B. E. (2003). Biología: *la vida en la tierra*. (6.ª ed.). Pearson educación, 889 pp.

Ávila-Nájera, D. M., Mendoza, G. D., Villarreal, O., & Serna-Lagunes, R. (2018). Uso y valor cultural de la herpetofauna en México: una revisión de las últimas dos décadas (1997–2017). *Acta Zoológica Mexicana* (Nueva Serie), 34, 1–15.

Banos-Villalba, A., Quevedo, M., & Edelaar, P. (2018). Color matching to the background by habitat choice in animals. *Ecology Letters*, 21, 136–146.

Barrows, C. W. & Allen, M. F. (2009). Conserving species in fragmented habitats: Population dynamics of the flat-tailed horned lizard, *Phrynosoma mcalli*. *The Southwestern Naturalist*, 54,307–316.

Beauchamp, B., Wone, B., Bros, S., & Kutilek, M. (1998). Habitat use of the flat-tailed horned lizard (*Phrynosoma mcallii*) in a disturbed environment. *Journal of Herpetology*, 210-216.

Bolnick, D. I., Amarasekare, P., Araújo, M. S., Bürger, R., Levine, J. M., Novak, M., Rudolf, V. H. W., Schreiber, S. J., Urban, M. C., & Vasseur, D. A. (2011). Why intraspecific trait variation matters in community ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(4), 183–192.

Borras Guevara, M. L. (2008). *Estrategias antidepredatorias del color del cuerpo y línea blanca dorsal de Phrynosoma cornutum en tres microhábitats diferentes* [Tesis de licenciatura, Universidad de los Andes].

Bryson, R. W., García-Vázquez, U. O., & Riddle, B. R. (2012). Diversification in the Mexican horned lizard *Phrynosoma orbiculare* across a dynamic landscape. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *62*(1), 87–96.

Bustos Zagal, M. G., Manjarrez, J., & Castro-Franco, R. (2013). Uso de microhábitat y termorregulación en *Sceloporus horridus horridus* (Wiegmann 1939)(Sauria: Phrynosomatidae). *Acta zoológica mexicana*, *29*(1), 153-163.

Carnalla Benitez, A. M. (2024). *Variación de temperatura, uso de hábitat y horas de actividad en Phrynosoma orbiculare en el estado de Morelos* [Tesis profesional, Universidad Autónoma del Estado de Morelos].

Chávez-Hidalgo, A. (2017). *Influencia de la complejidad del hábitat sobre la comunidad bentónica de Bahía Asunción BCS, México* [Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas].

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2011). Regionalización. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/doctos/rtp_109.pdf

Cooper Jr, W. E., & Sherbrooke, W. C. (2012). Choosing between a rock and a hard place: camouflage in the round-tailed horned lizard *Phrynosoma modestum*. *Current Zoology*, *58*(4), 541-548.

Cooper. W. E. & Greenberg. N. (1992). Reptilian coloration and behavior. In: Gans. C. & Crews. D. Hormones. Brain and Behavior. University of Chicago ed. Chicago. EEUU.

Desentis-Hernández, A., & Goyenechea-Mayer-Goyenechea, I. (2025). Cambios en la distribución de *Phrynosoma orbiculare*, en Hidalgo. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 12(24), 76-8.

Eifler, D. A., Eifler, M. A., & Brown, T. K. (2012). Habitat selection by foraging Texas horned lizards*, Phrynosoma cornutum*. *The Southwestern Naturalist*, 57(1), 39-43.

Endler, J. A. (1990). On the measurement and classification of colour in studies of animal colour patterns. *Biological Journal of the Linnean Society*, 41(4), 315-352.

Fair, S. & Henke, S. E. (1999). Movements, home ranges, and survival of Texas horned lizards (*Phrynosoma cornutum*). *Journal of Herpetology*, 33(4),517-525.

Gamelon, M., Morimoto, J., & White, H. J. (2025). Special Feature: Intraspecific variation in ecology & evolution. *Journal of Animal Ecology*, 94(3), 262–267.

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5.ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

García-Vázquez, U. O., & Mendizábal-Beverido, N. (2008). Camaleones endémicos de México. Herpetófilos, *Revista Mexicana especializada en Anfibios, Reptiles y Artrópodos*, 1, 12-13.

Gobierno del Estado de México. (2018). *Programa Hídrico Integral del Estado de México 2017–2023*. Comisión del Agua del Estado de México.

Goyenechea, I. G. M., & Camacho-Alva, M. K. (2023). Determinación de áreas prioritarias de conservación para el género *Phrynosoma*. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 11(21), 84-88.

Greene, H. G., Yoklavich, M. M., Starr, R. M., O'Connell, V. M., Wakefield, W. W., Sullivan, D. E., McRea, J. E., & Cailliet, G. M. (1999). A classification scheme for deep seafloor habitats. *Oceanologica acta*, *22*(6), 663-678.

Hernández Navarrete, D. (2018). Edad y crecimiento corporal de *Phrynosoma orbiculare* (Squmata: Phrynosomatidae).

Hernández Navarrete, D. (2018). *Edad y crecimiento corporal de Phrynosoma orbiculare* (*Squmata: Phrynosomatidae*). [Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México].

Hernández-Hernández, L. E., Sánchez-Manjarrez, D., Hernández-Gallegos, O., Salame-Méndez, A., Villagrán-Santa Cruz, M., Gribbins, K. M., & Granados-González, G. (2025). Plasma steroid hormones concentrations and their relevance in the reproductive cycle of female Mountain Horned Lizard, *Phrynosoma orbiculare*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 304, 111833.

Horowitz, S. B. (1955). An arrangement of the subspecies of the horned toad, *Phrynosoma orbiculare* (Iguanidae). *The American Midland Naturalist*, *54*(1), 204-218. https://www.iucnredlist.org/species/64079/12734405

Hult, S. M., & Germano, D. J. (2015). Habitat use and home range of *Phrynosoma blainvillii* in the San Joaquin Desert of California. *Herpetological Conservation and Biology*, 10(3), 850-63.

International Union for Conservation of Nature. (2007). *Phrynosoma orbiculare*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T64079A12734405.

Johnson, D. H. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 61(1), 65-71.

Kim, H., McComb, B. C., Frey, S. J. K., Bell, D. M., & Betts, M. G. (2022). Forest microclimate and composition mediate long-term trends of breeding bird populations. *Global Change Biology*, 28(21), 6180–6193.

Köhler, G. (2012). *Color catalogue for field biologists*. Herpeton.

Krausman, P. R. (1999). Some basic principles of habitat use. En K. L. Launchbaugh, K. D. Sanders, & J. C. Mosley (Eds.), *Grazing behavior of livestock and wildlife* (pp. 85–90). Idaho Forest, Wildlife and Range Experiment Station, University of Idaho.

Lahti, M. E., Beck, D. D., & Cottrell, T. R. (2010). Ecology of the pygmy short-horned lizard [*Phrynosoma (Tapaja) douglasii*] in Washington. *Northwestern Naturalist*, 134-144.

Leaché, A. D., Davis, H. R., Singhal, S., Fujita, M. K., Lahti, M. E., & Zamudio, K. R. (2021). Phylogenomic assessment of biodiversity using a reference-based taxonomy: An example with horned lizards (*Phrynosoma*). *Frontiers in Ecology and Evolution*, *9*, 678110.

Lemos-Espinal, J.A., Rojas-González, R.I., & Zúñiga-Vega, J.J. 2005. Técnicas para el estudio de poblaciones de fauna silvestre. Universidad Nacional Autónoma de México & Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.

Luna Kamyshev, N. M (2012). *Aspectos poblacionales y de ciclo de vida de Phrynosoma orbiculare (Squamata: Phrynosomatidae) en tres diferentes hábitats del Estado de México* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].

Macedonia, J. M., Brandt, Y., & Clark, D. L. (2002). Sexual dichromatism and differential conspicuousness in two populations of the common collared lizard (*Crotaphytus collaris*) from Utah and New Mexico, USA. *Biological Journal of the Linnean Society*, 77(1), 67-85.

Manzanilla, J. & J. Pefaur. (2000). Consideraciones sobre métodos y técnicas de campo para el estudio de anfibios y reptiles. *Revista de Ecología de Latino América*, 7(1-2),17-30.

Martínez Nova, N. A. (2019). *Uso de hábitat y ámbito hogareño de Phrynosoma orbiculare* (*Squamata: Phrynosomatidae*). [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México].

Meek, R., & Luiselli, L. (2022). Juveniles are different: substrate selection in juvenile green lizards *Lacerta bilineata*. *Ethology Ecology & Evolufion*, 1–11.

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

Merilaita, S. & Lind, J. (2006). Great tits (*Parus major*) searching for artificial prey: implications for cryptic coloration and symmetry. *Behavioral Ecology*, 17, 84-87

Newbold, T. S. (2005). Desert horned lizard (*Phrynosoma platyrhinos*) locomotor performance: the influence of cheatgrass (*Bromus tectorum*). *The Southwestern Naturalist*, 50(1), 17-23.

Oviedo-Hernández, E. (2024). *Demografía de una lagartija amenazada y de alta montaña (Phrynosoma orbiculare) en una población del centro de México*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México].

Oviedo-Hernández, E., Colin-Medina, K. N., Hernández-Gallegos, O., Suárez-Varón, G., & Suárez-Rodríguez, O. (2025). Total, meromely in a limb of the Mountain Horned Lizard (*Phrynosoma orbiculare*) in Central México. *Sonoran Herpetologist*, 38(4), 218.

Oviedo-Hernández, E., Granados-González, G., Rojas-González, R. I., Suárez-Varon, G., Andrade-Soto, G., Rheubert, J. L., & Hernández-Gallegos, O. (2024). Population dynamics of the Mexican Horned Lizard (*Phrynosoma orbiculare*) in the Parque de la Ciencia Sierra Morelos, State of Mexico, Mexico. *Herpetological Conservation and Biology*, 19(3), 475-486.

Pianka, E. P., & Vitt, L. J. (2003). Lizards: windows to the evolution of diversity (Vol. 5). Univ of California Press.

Pianka, E. R., & Parker, W. S. (1975). Ecology of horned lizards: a review with special reference to *Phrynosoma platyrhinos*. *Copeia*, 141-162.

Ponce Rosales, L.D (2024). *Desarrollo ontogenético del dimorfismo sexual del Lagarto Cornudo (Phrynosoma orbiculare) en una población del Estado de México*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México].

R CORE TEAM. (2022). R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. http://www.r-project.org

Ramakrishnan, S., Wolf, A. J., Hellgren, E. C., Moody, R. W., & Bogosian, V. (2018). Diet selection by a lizard ant-specialist in an urban system bereft of preferred prey. *Journal of Herpetology*, 52(1), 79-85.

Rhoads, D. D., & Williams, D. A. (2023). Background Color Matching in Texas Horned Lizards (*Phrynosoma cornutum*). *Journal of Herpetology*, 57(1), 27-35.

Rojas Hernández, U. (2022). *Patrones de movimiento espacio-temporales en la lagartija cornuda Phrynosoma orbiculare* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México].

Rojas-Hernández, U., Pérez-Pérez, A., Gómez-Benitez, A., Granados-González, G., Sherbrooke, W., Suárez-Varón, G., & Hernández-Gallegos, O. (2025). Sex and seasonal variation in the diet of mountain horned lizard (*Phrynosoma orbiculare*). *Caldasia*, 47, e112305.

Samia, D. S., Francini, R. B., & Francini, R. B. (2015). An affordable method to measure animal-background contrast using digital images. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 2(1), 8-16.

Sánchez-Jasso, J. M. (2012). *Estrategia para la conservación del Parque Ecológico Ejidal de Cacalomacán. Parque Nacional Nevado de Toluca* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México].

Satyam, K., & Thiruchitrambalam, G. (2018). Habitat Ecology and Diversity of Rocky Shore Fauna. *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands*, 187–215.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2025). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2025, Protección ambiental—Especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—Lista de especies en riesgo. Diario Official de la Federación*.

Sherbrooke, W. C. (2001) Do vertebral-line patterns in two horned lizards (*Phrynosoma spp*.) mimic plant-stem shadows and stem litter? *Journal of Arid Environments*, 50(1), 109-120.

Sherbrooke, WC (2003). Introducción a los lagartos cornudos de América del Norte (n.° 64). Univ. California Press.

Siliceo-Cantero, H. H., García, A., & Gao, Y. (2016). Abundance and habitat use of the lizard *Sceloporus utiformis* (Squamata: Phrynosomatidae) during the seasonal transition in a tropical environment. *Revisit Mexicana de Biodiversidad*, 87(4), 1301-1307.

Sinervo B, & Lively CM. (1996). The rock- paper-scissor game and the evolution of alternative male strategies. *Nature*, 380:240–243 pp.

Smith, G. R., & Ballinger, R. E. (2001). The ecological consequences of habitat and microhabitat use in lizards: a review. *Contemporary Herpetology*, 1-28.

Stein, A., Gerstner, K., & Kreft, H. (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, 17(7), 866–880.

Suárez-Rodríguez, O. (2014). *Tasa de adquisición de temperatura por medio de diferentes modos de transmisión y su relación con la forma del cuerpo en la lagartija Phrynosoma orbiculare* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México].

Suárez-Rodríguez, O., Suárez-Varón, G., Chávez-Siles, F., Pérez-Arriaga, F., Andrade-Soto, G., Aguilar-Isaac, L., & Hernández-Gallegos, 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.

Sun, B. J., Li, W. M., Lv, P., Wen, G. N., Wu, D. Y., Tao, S. A., & Du, W. G. (2024). Genetically encoded lizard color divergence for camouflage and thermoregulation. *Molecular Biology and Evolution*, *41*(2).

Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielbörger, K., Wichmann, M. C., Schwager, M., & Jeltsch, F. (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of biogeography*, 31(1), 79-92.

Tong, H., Li, J., Wo, Y., Shao, G., Zhao, W., Aguilar-Gómez, D., & Jin, Y. (2019). Effects of substrate color on intraspecific body color variation in the toad-headed lizard, *Phrynocephalus versicolor*. *Ecology and Evolution*, 9(18), 10253–10262.

Tullberg, B. S., Merilaita, S., & Wiklund, C. (2005). Aposematism and crypsis combined as a result of distance dependence: functional versatility of the colour pattern in the swallowtail butterfly larva. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1570), 1315.

Uribe Peña, Z., Ramírez Bautista, A., & Casas Andreu, G. (1999). Anfibios y reptiles de las serranías del Distrito Federal, México.

Vitt, L. J., & J. P. Caldwell. (2014). Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles (4th ed.). *Elsevier*.

Woolrich-Piña, G. A., Smith, G. R., & Lemos- Espinal, J. A. (2012). Body temperatures of three species of *Phrynosoma* from Puebla, México. *The Southwestern Naturalist*, 38,150-154.