



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

ECOLOGÍA

Termorregulación y riesgo de extinción de dos especies de *Phrynosoma*

(Sauria: Phrynosomatidae) con diferente modo reproductor

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

DIEGO MIGUEL ARENAS MORENO

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: FAUSTO ROBERTO MÉNDEZ DE LA CRUZ
INSTITUTO DE BIOLOGÍA

COMITÉ TUTOR: DR. ÁNDRES GARCÍA AGUAYO
INSTITUTO DE BIOLOGÍA

DR. ISAÍAS H. SALGADO UGARTE
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE, 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

ECOLOGÍA

Termorregulación y riesgo de extinción de dos especies de *Phrynosoma*

(Sauria: Phrynosomatidae) con diferente modo reproductor

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

DIEGO MIGUEL ARENAS MORENO

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: FAUSTO ROBERTO MÉNDEZ DE LA CRUZ
INSTITUTO DE BIOLOGÍA

COMITÉ TUTOR: DR. ÁNDRES GARCÍA AGUAYO
INSTITUTO DE BIOLOGÍA

DR. ISAÍAS H. SALGADO UGARTE
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE, 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 12 de mayo de 2014, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del alumno **ARENAS MORENO DIEGO MIGUEL** con número de cuenta **301809317** con la tesis titulada "**Termorregulación y riesgo de extinción de dos especies de Phrynosoma (Sauria: Phrynosomatidae) con diferente modo reproductor**", realizada bajo la dirección del **DR. FAUSTO ROBERTO MENDEZ DE LA CRUZ**:

Presidente: DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MÉYER
Vocal: DR. GUSTAVO CASAS ANDREU
Secretario: DR. ISAÍAS HAZARMABETH SALGADO UGARTE
Suplente: DR. MARTÍN MARTÍNEZ TORRES
Suplente: DR. ANDRÉS GARCÍA AGUAYO

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 6 de agosto de 2014.

M. del Coro Arizmendi
DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA



c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada No. 412744/262602. Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT-UNAM) por el financiamiento otorgado para el proyecto IN215011. A los miembros del comité tutor: Dr. Fausto R. Méndez de la Cruz, Dr. Andrés García Aguayo y Dr. Isaías H. Salgado Ugarte por su interés, ayuda y observaciones que fueron de gran importancia para el trabajo.

Agradecimientos

A la UNAM y más específicamente al Instituto de Biología

Al Dr. Fausto R. Méndez de la Cruz, por todo su gran apoyo y por brindarme su amistad y confianza.

Al Dr. Rafael Lara Resendiz, por todas las sugerencias, el apoyo en campo y laboratorio, por brindarme su amistad y por inculcarme el hábito de la escritura científica. Fuiste como mi segundo asesor.

A la M. en C. Elizabeth Beltrán y al Biol. Marcos García Pareja por todo su apoyo en el trabajo de campo y por ayudarme organizando las salidas a campo y darme hospedaje.

A Liliana García Hernández por todo el apoyo moral.

A mis papás y a mi familia.

A la familia García Hernández.

A las personas que me acompañaron al campo: Rufino Santos, Marco Antonio Díaz, David Brindis, Itzel Florentino, Perla Patricia Alvarado, Jared Grummer, Leonardo López, Josimar Hernández, etc.

A las personas que aportaron algo a mi tesis, ya sea directa o indirectamente: Isaías Salgado, Andrés García, Guillermo Woolrich, Wade Sheerbrooke, Adam Leaché, Adrián Nieto, Aníbal Díaz de la Vega, Norberto Martínez.

A mis compañeros del laboratorio en especial a: Oscar Rodríguez, Francisco Muñoz, Biaani Pérez, Alberto Rodríguez, Franklin Copio, Raúl Gómez Trejo, Mirna Vera.

A mi jurado de tesis: Enrique Martínez, Gustavo Casas, Isaías Salgado, Martín Martínez y Andrés García.

A mi amigo Vladimir Rodríguez por ayudarme con el abstract.

A todas aquellas personas que me ayudaron de manera directa o indirecta en la maestría y que olvidé mencionar. Además les ofrezco una disculpa por mi mala memoria.

Y en especial a los *Phrynosoma asio* y *P. taurus*, ya que sin ellos esta tesis no se hubiese realizado.

Dedicatoria

A mis padres por darme la vida y haberse esforzado tanto por mí en todos los aspectos.

A mi amiga Liliana García, por su gran apoyo a lo largo de toda la maestría y por ser alguien especial para mí.

A mis hermanos por su cariño.

A mi familia, en especial a mi abuelita Teófila, que ahora pertenece a otro eslabón de la cadena trófica, y a mis tías Mari, Nina y Gaby.

A la familia García Hernández.

A mis otros dos hermanos, Miguel Moreno e Iván Ramírez.

A mis amigos, en especial a David Brindis y Biaani Pérez

“La ignorancia genera más confianza que el conocimiento. Son aquellos que poco saben, y no aquellos que más saben, quienes tan positivamente afirman que este o aquel problema nunca será resuelto por la ciencia.”

Charles Darwin

“Podemos juzgar el corazón de una persona por la forma en que trata a los animales”.

Immanuel Kant

“Primero fue necesario civilizar al hombre en su relación con el hombre. Ahora es necesario civilizar al hombre en su relación con la naturaleza y los animales”.

Víctor Hugo

Índice

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Hipótesis.....	5
Objetivos.....	6
Antecedentes.....	7
Descripción de las especies de estudio	9
<i>Phrynosoma taurus</i>	9
<i>Phrynosoma asio</i>	11
Material y método.....	13
Área de estudio.....	13
Metodología.....	16
Trabajo de campo.....	16
Trabajo de laboratorio.....	18
Índices de termorregulación.....	18
Análisis estadístico.....	19
Riesgo de extinción.....	19
Resultados.....	21
Periodo de actividad y Termorregulación.....	21
<i>Phrynosoma taurus</i>	21
<i>Phrynosoma asio</i>	26
Comparación en la termorregulación.....	30
Temperaturas operativas y Calidad térmica.....	31
Riesgo de extinción.....	37
Discusión.....	41
Horario de actividad.....	41
Temorregulación.....	42
Comparación entre especies.....	44
Temperaturas Operativas y Calidad térmica.....	45
Riesgo de extinción.....	47
Conclusiones.....	48
Literatura citada.....	50

Índice de figuras

Figura 1.1: Foto de <i>Phrynosoma taurus</i> tomada en Tierras Prietas, Guerrero.....	9
Figura 1.2: Mapa de distribución de <i>Phrynosoma taurus</i>	10
Figura 1.3: Foto de <i>Phrynosoma asio</i> tomada en el Cerro Tepetlayo, Guerrero.....	11
Figura 1.4: Mapa de distribución de <i>Phrynosoma asio</i>	12
Figura 2.01: Imagen satelital del área de estudio.....	13
Figura 2.02. Foto del bosque tropical caducifolio perturbado ubicado en Zumpango de Neri, Guerrero, México en época de secas.....	14
Figura 2.03. Foto tomada en época de lluvias de un bosque tropical caducifolio perturbado en Zumpango de Neri, Guerrero, México.....	14
Figura 2.04. Foto de un bosque tropical caducifolio ubicado a las afueras de Chilpancingo, Guerrero, México, en época de secas.....	15
Figura 2.05. Foto tomada en época de lluvias en un bosque tropical caducifolio ubicado a las afueras de Chilpancingo, Guerrero, México	16
Figura 3.01: Horario de actividad de <i>P. taurus</i>	22
Figura 3.02: Correlación construida con los datos de temperatura de un individuo de <i>P. taurus</i> y del modelo de PVC.....	22
Figura 3.03: Porcentaje de observación de T_c y T_o de <i>P. taurus</i>	24
Figura 3.04: Porcentaje de observaciones de T_o de <i>P. taurus</i> de la zona 1 y 2 durante todo el año.....	25
Figura 3.05: Horario de actividad de <i>P. asio</i>	26
Figura 3.06: Correlación construida con los datos de temperatura de un individuo de <i>P. asio</i> y del modelo de PVC.....	27
Figura 3.07: Porcentaje de observación de T_c y T_o de <i>P. asio</i>	28
Figura 3.08: Porcentaje de observaciones de T_o para <i>P. asio</i> en la zona 1.....	29
Figura 3.09: Porcentaje de observación de T_c y T_o de <i>P. taurus</i> y <i>P. asio</i> en la zona 1.....	32
Figura 3.10: Porcentaje de observaciones de T_o de <i>P. taurus</i> de la zona 1 y 2 durante la época de secas.....	33
Figura 3.11: Porcentaje de observaciones de T_o de <i>P. taurus</i> de la zona 1 y 2 durante la época de lluvias.....	34
Figura 3.12: Porcentaje de observaciones de T_o de <i>P. asio</i> de la zona 1 y zona 2 (caso hipotético) durante la época de seca.....	35

Figura 3.13: Porcentaje de observaciones de T_o de <i>P. asio</i> de la zona 1 y zona 2 (caso hipotético)	36
Figura 4.01: Mapa que muestra el riesgo de extinción de <i>P. taurus</i>	37
Figura 4.02: Mapa a menor escala que muestra el riesgo de extinción de <i>P. taurus</i>	38
Figura 4.03: Mapa que muestra el riesgo de extinción de <i>P. asio</i>	39
Figura 4.04: Mapa a menor escala que muestra el riesgo de extinción <i>P. asio</i>	40
Tabla 1.1: Promedio de T_c , T_p , d_b , d_e , intervalo de T_p y valor de E para <i>P. taurus</i>	25
Tabla 1.2: Promedio de T_c , T_p , d_b , d_e , intervalo de T_p y valor de E para <i>P. asio</i>	29
Tabla 1.3 Requerimientos térmicos por especie. Sólo fueron tomados los datos de la zona 1	30
Tabla 1.4: Promedios de T_o por zona y estación, así como la diferencia estadística	31
Tabla 1.5: Promedios de de por estación y especie	31

Resumen

El cambio climático afecta a todo tipo de organismos en diversos ecosistemas. Si los organismos no pueden adaptarse al cambio en la temperatura o migrar a otros lugares, estos pueden extinguirse localmente. En este trabajo se describió y comparó la termorregulación de la lagartija vivípara *Phrynosoma taurus* y de la lagartija ovípara *Phrynosoma asio* en dos localidades de Guerrero, México. Además, se determinó el riesgo de extinción para las dos especies con un modelo termofisiológico. El promedio de la temperatura corporal en campo y de la temperatura preferida en laboratorio de *P. taurus* fue $33.2 \pm 0.7^\circ\text{C}$ y $34.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$; y para *P. asio* fue de $33.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$ y $35.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$, respectivamente. Por otro lado, la precisión en la termorregulación fue considerada alta para ambas especies ($d_b=1.3 \pm 0.4^\circ\text{C}$ y $1.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$). Sin embargo, la calidad térmica del hábitat disponible para las lagartijas fue considerada baja en las dos zonas de estudio con diferente altitud ($d_e > 7$) a lo largo de todo el año. No obstante, en época de secas la calidad térmica aumenta de manera significativa en las dos zonas de estudio. Además, a pesar de la baja calidad térmica, las dos especies son altamente eficientes en la termorregulación ($E > 0.5$). No se encontró diferencia significativa entre las preferencias térmicas de ambas especies. Sin embargo, la gestación en *P. taurus* sucede en secas, cuando la calidad térmica es más alta; mientras que en *P. asio*, la puesta de huevos es en lluvias, periodo con baja calidad térmica para los adultos. Por lo tanto, las diferencias en la fenología de la reproducción, en las temperaturas y calidad térmica por estaciones probablemente afecten la distribución y abundancia de las lagartijas de las dos especies en las zonas de estudio. Por otro lado, las dos especies presentaron una baja probabilidad de extinción, no obstante, este riesgo se incrementa en las zonas donde las temperaturas son más altas y donde hay menor precipitación. Los resultados sugieren que los requerimientos térmicos de las dos especies están influenciados por el tipo de hábitat y el modo reproductor.

PALABRAS CLAVE: calidad térmica, cambio climático, ecología térmica, *Phrynosoma*, riesgo de extinción local, viviparidad.

Abstract

Climate change affects all types of organisms in all ecosystems. If the organisms can not adapt to change in temperature or migrate to other places, they could be extinguishing. In this study I described and compared the thermoregulation of the viviparous horned lizard *Phrynosoma taurus* and the oviparous horned lizard *Phrynosoma asio* in two localities in Guerrero state, Mexico. Also, I determined the risk of extinction for the two species with a thermophysiological model. The average body temperature and preferred temperature for *P. taurus* under laboratory conditions was $33.2 \pm 0.7^\circ\text{C}$ and $34.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$, and for *P. asio* was $33.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$ and $35.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$, respectively. In addition, thermoregulatory precision was considered high for both species ($d_b=1.3 \pm 0.4^\circ\text{C}$ and $1.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$). However, the thermal quality of the available habitat for lizards was considered low in almost two study areas ($d_e > 7$) over the whole year and in the rainy season; except in the dry season where the thermal quality was moderate in zone 1 and high in the zone 2. Nevertheless, the two species are highly efficient in regulating its temperature ($E > 0.5$), despite of the low thermal quality. I did not found a significant difference between the thermal requirements of both lizards. However, the phenology of reproduction is different in the two species, because the females of *P. taurus* are pregnant during the dry season, when the temperature and thermal quality is higher than rainy season, period in which *P. asio* females lay their eggs. Therefore, the difference in the phenology of reproduction, and the discrepancy of the temperatures and thermal quality through stations probably affect the distribution and the number of individuals of the populations of these two species in the two study areas. Regarding the risk of extinction, the two species showed a relatively low risk of extinction, however, this risk is increased in areas where temperatures are higher and where there is less precipitation. The results suggest that the thermal requirements of the two species may be influenced by habitat type and reproductive mode.

KEY WORDS: climatic change, extinction risk, *Phrynosoma*, thermal quality, thermoregulation, vivipary.

Introducción

El cambio climático afecta a todo tipo de organismos en todos los biomas y ecosistemas. Si los organismos no pueden adaptarse a los cambios en las temperaturas o escapar a lugares con temperaturas más adecuados, terminarán extinguiéndose (Pereira *et al.* 2010).

En el pasado, se pensaba que las lagartijas eran invulnerables al calentamiento climático, ya que ellas toleran altas temperaturas corporales, evaden el estrés térmico por medio del comportamiento, y resistir la deshidratación (Kearney *et al.*, 2009). Sin embargo, Sinervo y colaboradores (2010) aseguran que el 20% de las especies de lagartijas se habrán extinguido para el 2080. El principal fundamento para estas proyecciones es que se registraron 48 poblaciones de lagartijas mexicanas del género *Sceloporus* estudiadas entre 1975 y 1995, esto proyectó el 12% de poblaciones extintas para el año 2009. También se encontró que las lagartijas vivíparas tienen mayor riesgo de extinción (18%) que las especies ovíparas (9%; Sinervo *et al.*, 2010). Esto debido a que un incremento en la temperatura ambiental, puede afectar de diferentes formas al desarrollo embrionario de las crías ya que las hembras preñadas se encuentran directamente expuestas a altas temperaturas ambientales (Sinervo *et al.* 2010).

De acuerdo con la hipótesis del clima frío, la viviparidad en reptiles surgió como una respuesta a bajas temperaturas, asociada al tipo de invierno en lugares altos donde la radiación solar es mayor en invierno que en verano (Guillette, 1993). Este modo reproductor parece ser una adaptación para evitar que los embriones tengan problema durante la incubación si las temperaturas bajan demasiado, ya que este fenómeno no se ha observado en climas boreales debido a que los inviernos son húmedos, fríos y con poca radiación solar (Méndez-De la Cruz *et al.* 1998). Un ejemplo claro de reptiles que utilicen esta estrategia de reproducción son algunas especies del género *Phrynosoma* (Hodges, 2004).

Las lagartijas pertenecientes al género *Phrynosoma* tienen una amplia distribución en Norte América, desde Chiapas hasta Canadá, habitando una gran cantidad de hábitats térmicamente contrastantes, desde los 200 metros por debajo del nivel del mar hasta altitudes superiores a 3000 metros (Hodges, 2004). Además, en este grupo hay dos clados vivíparos, Tapaja y Brevicauda, cuyo origen evolutivo es independiente. No obstante, en los dos clados la

viviparidad parece estar asociado a hábitats de alta montaña (Hodges, 2004; Leaché y McGuire, 2006).

El clado Brevicauda está representado por tres especies, siendo *Phrynosoma taurus* la especie de este clado que se distribuye a menor altitud y en hábitats más calientes que otros *Phrynosoma* vivíparos. *Phrynosoma taurus* habita principalmente en climas secos como el matorral xerófilo y el bosque tropical caducifolia, desde los 760 a los 2,000 metros de elevación, en los estados de Guerrero, Oaxaca, Puebla y Morelos (Sherbrooke, 2003; Castro y Bustos, 2006; Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén 2010; Nieto-Montes de Oca *et al.* en prensa). El apareamiento de esta especie se lleva a cabo en otoño y las crías nacen en primavera (Woolrich-Piña *et al.* 2005). Cabe resaltar que la lagartija *P. taurus* ha sido pobremente estudiada y es poco abundante (Woolrich-Piña *et al.* 2005).

Beltrán-Sánchez y colaboradores (2005) y García-Pareja (2012) mencionan a una población de *Phrynosoma taurus* ubicada en el centro de Guerrero en un bosque tropical caducifolio perturbado que va de los 1,000 a los 1,200 msnm y que se encuentra en simpatria con una población de *P. asio*, un miembro ovíparo del mismo género que se distribuye en ambientes muy similares a *P. taurus*. Sin embargo, *P. asio* puede vivir en hábitats más calientes, ya que se distribuye desde el nivel del mar hasta los 1,500 m de elevación (Sherbrooke, 2003; Hodges, 2004).

Además, ambas especies, *Phrynosoma taurus* y *P. asio*, son heliotermas, debido a que regulan su temperatura corporal (T_c) alternando periodos exposición directa al sol y periodos de exposición a la sombra, para mantener su T_c dentro del rango de temperaturas óptimas (Sherbrooke, 2003; Woolrich-Piña *et al.* 2012). Sin embargo, no existen registros de *P. asio* que superen los 1,300 msnm en los alrededores del área que se menciona anteriormente, a pesar de que el límite altitudinal de esta especie se encuentra a los 1,500 metros (Hodges, 2004; Beltrán-Sánchez com. pers).

Debido a lo anterior, se determinaron y compararon los requerimientos térmicos de dos especies de *Phrynosoma* con diferente modo reproductor a lo largo de dos zonas de estudio ubicadas a diferentes altitudes (una zona ubicada a 1,200 metros y otra a 1,400 metros). Así

mismo, se buscó determinar el riesgo de extinción de las dos especies para conocer su sensibilidad ante el cambio climático.

Hipótesis

1. *Phrynosoma taurus* y *P. asio* serán eficientes en su termorregulación.
2. Si *Phrynosoma taurus* y *P. asio* tienen baja eficiencia térmica y muchas horas de restricción, tendrán un alto riesgo de extinción frente al cambio climático.
3. *Phrynosoma taurus* y *P. asio* tendrán diferentes requerimientos térmicos debido a que poseen diferentes modalidades reproductoras y a que se distribuyen a diferentes altitudes.
4. Existirán diferencias significativas entre las temperaturas operativas (T_o) y la calidad térmica (d_e) entre zonas y entre estaciones.

Objetivos

Generales

Evaluar la eficiencia en la termorregulación de dos especies de lagartijas con diferente modo reproductor y determinar su riesgo de extinción local.

Particulares

1. Determinar el horario de actividad y los requerimientos térmicos de *P. taurus* y *P. asio*.
2. Comparar los requerimientos térmicos en campo y en laboratorio de *P. taurus* y *P. asio*.
3. Determinar y comparar las temperaturas operativas (T_o) y la calidad térmica del ambiente (d_e) en las dos zonas de estudio con diferente altitud, entre estaciones (lluvias y secas) y entre especies.
4. Determinar el riesgo de extinción local de *P. taurus* y *P. asio* a lo largo de su distribución.

Antecedentes

Las lagartijas son organismos ectotermos, es decir, no producen su propio calor corporal, por lo que recurren a fuentes externas para obtenerlo. Debido a esto, la temperatura es un factor importante en su historia natural, por lo que muchos ectotermos se ven obligados a llevar a cabo una serie de estrategias conductuales y fisiológicas para regular sus temperaturas corporales dentro de un rango mucho más estrecho de temperaturas óptimas o preferidas (Cowles y Bogert, 1944; Shine y Kearney, 2001; Pianka y Vitt, 2003; Navarro-García *et al.* 2008).

El mantenimiento de temperaturas corporales preferidas es muy importante para los organismos ectotérmicos, ya que todas sus funciones fisiológicas y conductuales dependen de la temperatura; por ejemplo, el forrajeo, evasión de depredadores, gametogénesis, la reproducción, la digestión, el crecimiento, entre otros (Bartholomew, 1982; Huey, 1982; Bauwens *et al.* 1996; Pianka y Vitt, 2003). Por lo tanto, cuando las temperaturas corporales de las lagartijas que se encuentran fuera del intervalo de temperaturas preferidas, la velocidad de estos procesos disminuye o no pueden realizarse (Prieto y Whitford, 1971; Pianka y Vitt, 2003).

Las temperaturas por encima del intervalo de temperaturas preferidas pueden afectar de manera dramática los procesos fisiológicos y conductuales e incluso pueden llegar a ser letales; por lo que los animales inmediatamente se refugian para evitar sobrecalentarse (Cowles y Bogert, 1944). No obstante, si las temperaturas en el exterior son demasiado altas durante mucho tiempo, las lagartijas no podrán llevar a cabo ciertas actividades, como la alimentación o la reproducción. Si estos organismos no pueden reproducirse pueden llegar a extinguirse localmente (Sinervo *et al.* 2010). Sinervo y colaboradores (2010) sugieren que el cambio climático afecta a muchas de las poblaciones de lagartijas, ya que el aumento en las temperaturas ambientales genera gran cantidad de horas de restricción para estos animales limitando sus periodos de actividad e imposibilitando que realicen sus actividades biológicas cotidianas, y finalmente evitando que puedan llegar a reproducirse.

Desde entonces, prácticamente nadie ha utilizado el modelo propuesto por Sinervo y colaboradores (2010). Sin embargo, Lara-Resendiz (2013), determinó los requerimientos térmicos y el riesgo de extinción de dos especies simpátricas de *Phrynosoma* en el norte de México, usando

la metodología mencionada anteriormente. En este trabajo se encontró que la especie con requerimientos térmicos más bajos tenía un mayor riesgo de extinción ante el cambio climático.

Debido a que los estudios sobre riesgo de extinción en lagartijas podrían tener una aplicación futura y a que aún se desconoce de manera precisa el riesgo de extinción a nivel de especie en prácticamente todas las lagartijas, es de gran importancia determinar el riesgo de extinción para lagartijas heliotérmicas (*Phrynosoma taurus* y *P. asio*) con diferente modo reproductor.

Descripción de las especies de estudio

Phrynosoma taurus



Figura 1.1: Foto de *Phrynosoma taurus* tomada en Tierras Prietas, Guerrero.

Descripción: Es una lagartija mediana, con una longitud hocico cloaca (LHC) que oscila entre 50 y 80 mm (Sherbrooke, 2003). En la región temporal del cráneo presenta una prolongación muy marcada formando dos espinas en forma de cuernos, similar a un “toro” (Sherbrooke, 2003; Woolrich-Piña *et al.* 2005). Posee una hilera bien definida de escamas agrandadas a lo largo de la parte media del cuerpo y escamas quilladas en la región ventral. Presenta dos espinas occipitales y dos superciliares, siendo las occipitales más pequeñas que las superciliares. La cola es muy pequeña (Sherbrooke, 2003). Presenta de 9 a 10 poros femorales. Los machos presentan dos escamas postanales agrandadas. Su coloración es parduzca con tonalidades amarillentas y grisáceas (Woolrich-Piña *et al.* 2005) (Figura 1.1)

Historia Natural: Esta lagartija habita en climas secos como el matorral xerófilo y la selva baja caducifolia. Se alimenta principalmente de hormigas, que forman hasta el 60% de su dieta, aunque también se alimenta de termitas y coleópteros (Woolrich *et al.* 2005; Canseco-Márquez y

Gutiérrez-Mayén 2010). *Phrynosoma taurus* es una especie vivípara, se aparea en octubre y noviembre y pare en los meses de mayo y junio y puede parir hasta 12 crías. (Beltrán *et al.* 2005; Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén 2010). Su temperatura corporal en campo es de 33.39 ± 0.2 °C (Woolrich *et al.* 2012).

Distribución: *Phrynosoma taurus* se distribuye desde los 763 a los 2,000 metros de elevación dentro de los estados de Guerrero, Oaxaca, Puebla y recientemente registrada en Morelos (Sherbrooke, 2003; Castro y Bustos, 2006) (Figura 1.2).

Estado de conservación: Se encuentra en la categoría de “Amenazado” según la NOM-059 SEMARTANT 2010 y como “Preocupación Menor” según la lista roja de la IUCN (2013).



Figura 1.2: Mapa de distribución de *Phrynosoma taurus* según IUCN (2013).

Phrynosoma asio



Figura 1.3: Foto de *Phrynosoma asio* tomada en el Cerro Tepetlayo, Guerrero.

Descripción: Es una lagartija grande que mide de 80 a 120 mm de LHC. Se caracteriza por tener dos hileras de espinas a los lados del dorso. Presentan dos espinas occipitales; dos pares de espinas temporales a cada lado de la cabeza y dos espinas superciliares. Escamas ventrales quilladas. Presenta dos hileras bien definidas de escamas agrandadas a lo largo de la parte media del cuerpo y una cola grande. Los machos presentan dos escamas postanales agrandadas. Su coloración es parduzca con tonalidades grisáceas (Sherbrooke, 2003) (Figura 1.3).

Historia Natural: Habita en lugares cálidos y semiáridos como el bosque tropical caducifolio y el matorral xerófilo. Se alimenta principalmente de hormigas (Sherbrooke, 2003). *Phrynosoma asio* es una especie ovípara; se aparean en el verano, la puesta de huevos se lleva a cabo en el mes de agosto y septiembre y las crías nacen en noviembre (García-Pareja, 2012). Su temperatura corporal promedio en campo es de 32.4 °C (Lemos-Espinal *et al.* 1997).

Distribución: Se distribuye desde los 0 a los 1,500 msnm desde Jalisco hasta Oaxaca, siendo los registros de Chiapas y Guatemala muy cuestionados (Sherbrooke, 2003, Lara-Resendiz com. pers.) (Figura 1.4).

Estado de conservación: Se encuentra en la categoría de “*Protección especial*” según la NOM-059 SEMARTANT 2010 y como “*Preocupación Menor*” según la lista roja de la IUCN (2013).



Figura 1.4: Mapa de distribución de *Phrynosoma asio* (IUCN, 2013)

Material y Método

Área de estudio

Para la realización de este trabajo se visitaron regularmente durante un año dos áreas de estudio, ubicadas cerca del sitio en el que *Phrynosoma taurus* y *P. asio* están en simpatria (Figura 2.01) (Sherbrooke, 2003).

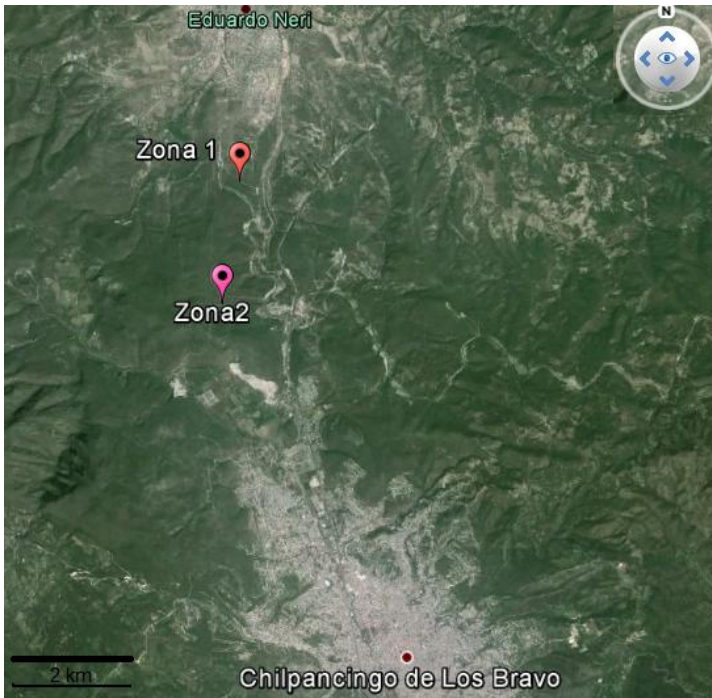


Figura 2.01: Imagen satelital del área de estudio.

Las dos áreas de estudio se encuentran en el centro de Guerrero y están separadas por tres kilómetros en línea recta (Figura 2.01).

La zona 1 se encuentra a los 1,200 msnm (Figura 2.02 y 2.03) en las coordenadas 17°37' norte (N) y 99°31' oeste (O) y se localizan en el Municipio de Zumpango de Neri, al Norte de Chilpancingo (Figura 2.6) (Gobierno del estado de Guerrero, 2012). El clima corresponde a semicálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 24.5 °C y una precipitación anual de 705 mm (Weatherbase, 2012). La vegetación original dominante corresponde a un bosque tropical caducifolio, sin embargo el área de estudio está altamente

impactada por pastoreo presentando parches de una vegetación secundaria arbustiva (Rzedowski, 1981). Cabe resaltar que en ésta zona están registrados *Phrynosoma taurus* y *P. asio* (Beltrán-Sánchez *et al.* 2005; García-Pareja, 2012).



Figura 2.02. Foto del bosque tropical caducifolio perturbado ubicado en Zumpango de Neri, Guerrero, México (zona 1) en época de secas. En este lugar *Phrynosoma asio* y *P. taurus* viven en simpatria (Beltrán- Sánchez *et al.* 2005; García-Pareja, 2012).



Figura 2.03. Foto tomada en época de lluvias de un bosque tropical caducifolio perturbado en Zumpango de Neri, Guerrero, México (zona 1) donde *Phrynosoma taurus* y *P. asio* coexisten (Beltrán- Sánchez *et al.* 2005; García-Pareja, 2012).

La zona 2 se encuentra a los 1,400 msnm en las coordenadas 17°36´ N y 99°31´ O en el municipio de Chilpancingo de los Bravo, capital del estado de Guerrero. El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano (Gobierno del estado de Guerrero, 2012). Presenta una temperatura media anual de 22.9 °C. Las lluvias se presentan normalmente de junio a septiembre, con una precipitación media anual de 1,010 mm. La vegetación dominante es bosque tropical caducifolio (Figura 2.04, 2.05 y 2.06) (Rzedowski, 1981; INEGI, 2011). No obstante, en esta zona no hay registros de *Phrynosoma asio*, a pesar de que se encuentra separada por cinco kilómetros de la zona 1 y 200 metros más alta.



Figura 2.04. Foto de un bosque tropical caducifolio ubicado a las afueras de Chilpancingo, Guerrero, México (zona 2), tomada en época de secas. Esta zona se ubica 200 metros más arriba que la zona 1, sin embargo no se ha encontrado a *Phrynosoma asio* (Beltrán- Sánchez com. per.).



Figura 2.05. Foto tomada en época de lluvias en un bosque tropical caducifolio ubicado a las afueras de Chilpancingo, Guerrero, México (zona 2). Esta zona se ubica 200 metros más arriba que la zona 1, sin embargo no se ha encontrado a *Phrynosoma asio*.

Metodología

Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó desde abril de 2012 a junio de 2013. También se incluyeron datos de termorregulación *P. taurus* y *P. asio* de trabajos no publicados proporcionados por Beltrán-Sánchez Elizabeth, García-Pareja Marcos y Lara-Resendiz Rafael. Estos datos fueron tomados en la zona 1 en los meses de agosto a octubre del 2001, en marzo de 2002, mayo de 2006, noviembre de 2009 y durante octubre a noviembre 2010.

El trabajo de campo consistió en coleccionar ejemplares de *P. taurus* y *P. asio* y medir su temperatura corporal (T_c) con un termómetro digital Fluke modelo 51-II con un sensor tipo K (± 0.1 °C) insertando 1 cm del sensor dentro de la cloaca. La medición se realizó durante los primeros 20 segundos después de su captura (Hertz et al. 1993; Lara-Resendiz et al. 2013). También se registró la hora de captura, la longitud hocico cloaca (en mm), el sexo (macho o hembra) y su posición geográfica con un GPSmap 60CSx Garmin®. Para el análisis de datos se utilizó únicamente

información de ejemplares activos ($T_c > 25^\circ\text{C}$) y con una LHC de 55 mm en el caso de *P. taurus* (Zamundio y Parra-Olea, 2000) y de 70 mm en el caso de *P. asio* (García-Pareja, 2012).

La temperatura operativa ambiental (T_o), que representa la temperatura de equilibrio de un objeto inanimado con su hábitat y permiten explorar el ambiente térmico en su misma escala espacial; además pueden ser replicadas con facilidad para medir múltiples condiciones térmicas espacio-temporales (Bakken, 1992). Trabajos previos han utilizado diferentes materiales para medir la T_o (ver Dzialowski, 2005), sin embargo, recientemente se han validado las T_o medidas con modelos de Policloruro de vinilo (PVC) y con la T_c de pequeños ectotermos (Dzialowski 2005, también ver Material de Apoyo en Línea en Sinervo et al., 2010).

Con base en lo anterior, los modelos térmicos diseñados para imitar la propiedades térmicas de las lagartijas se hicieron de tubos de PVC aplanados, semejantes a individuos de *P. taurus* y *P. asio* en forma y tamaño, pintados de gris 33 y calibrados previamente (véase más adelante). Los modelos fueron conectados a seis data-loggers (HOBOTEMP[®]) y se registró la T_o cada 30 minutos durante las 24 horas durante los meses de abril a noviembre de 2012 en las zonas de altitud menor y mayor; y de octubre de 2011 a junio de 2012 en la zona de altitud media. Los modelos fueron ubicados en los microhábitats donde la lagartija fue observada en campo y en los posibles lugares donde ésta pudiese perchar, según la literatura (bajo arbusto a plena sombra, bajo arbusto con episodios de sombra y sol a lo largo del día, debajo de roca y cerca de arbusto pero expuesto al sol) (García-Pareja, 2012; Sherbrooke, 2003). Sólo se tomó en cuenta la T_o de 8:00 a 19:00 horas, debido al horario de actividad en campo observado (Adolph y Porter, 1993).

Los datos de T_o fueron sometidos a una calibración para determinar si éstos representan de manera precisa la temperatura que las lagartijas podrían tener en su hábitat. La calibración del modelo biofísico de T_o usando los criterios propuestos por (Dzialowski, 2005) se realizó un día típico en campo mediante el registro de T_c s de un ejemplar de *P. taurus* y otro de *P. asio* y de un modelo de PVC conectados al termómetro digital durante el experimento. La toma de temperatura se efectuó cada tres minutos durante tres horas; el ejemplar y el modelo se colocaron dentro de un refugio simulando artificialmente episodios de radiación solar y sombra. Posteriormente, con los

datos obtenidos se realizó una correlación para evaluar la representatividad del modelo (considerando que una $R^2 \geq 0.7$ indica un buen modelo).

Trabajo de laboratorio

Se obtuvo la T_p de ejemplares en un gradiente térmico en condiciones de laboratorio. El gradiente fue diseñado de acuerdo con estudios previos de la familia Phrynosomatidae. Este consistió de una caja de madera de 100 X 10 X 15 cm (largo, ancho y alto) dividida en diez carriles. El extremo frío se consiguió colocando la caja en una habitación con temperatura de 20 a 25 °C y para el extremo caliente se colocaron tres focos de 100 Watts suspendidos a 30 cm de altura, aumentando la temperatura de aquel extremo a unos 50°C. A lo largo cada carril se colocó un centímetro de tierra como sustrato. Las lagartijas fueron privadas de alimento entre uno o dos días antes del experimento y se hidrataron cada mañana. Antes de comenzar a registrar la T_p , los ejemplares se aclimataron en el gradiente térmico durante dos horas para su utilización eficiente. Los registros de T_p fueron realizados con el termómetro digital cada hora desde las 8:00 hasta las 19:00 horas, horario en el cual las lagartijas diurnas pueden estar activas (Adolph y Porter, 1993). Se calculó el intervalo de T_p con los cuartiles del 25 y 75 % (T_{p25} y T_{p75}) para cada fase (sensu Hertz et al., 1993). Una vez finalizada esta parte, todas las lagartijas se liberaron en el lugar donde fueron encontradas con ayuda del navegador GPS.

Índices de termorregulación

Se calcularon los índices de termorregulación sensu Hertz y colaboradores (1993; d_b , d_e y E) de la siguiente forma: si la T_c o $T_o < T_p$, entonces $d_b = T_c - T_{p25}$ y $d_e = T_o - T_{p25}$, respectivamente y si la T_c o $T_o > T_p$ fue $d_b = T_c - T_{p75}$ y $d_e = T_o - T_{p75}$, respectivamente. Cuando T_c o T_o estuvieron dentro del intervalo T_p se consideró d_b y d_e igual a cero. Valores altos de d_b y d_e indican precisión y calidad térmica baja y un valor igual o cercano a cero son altamente precisas y representan ambientes térmicamente ideales (valores de d_b o d_e menores de 5 se consideraron altos, de 5 a 5.9 moderados y mayores de 6 bajos).

Posteriormente, se calculó el índice E con la ecuación: $E = 1 - \left(\frac{d_b}{d_e} \right)$. Un valor de E

cercano a uno refiere termorregulación activa (mayor a 0.6), mientras que igual o cercano a cero es termoconformista o termorregulador pasivo (menor de 0.5) (ver detalles en Hertz et al., 1993).

Se calculó una d_b única para cada especie, debido a que se busca determinar los requerimientos térmicos de estas lagartijas a nivel intraespecífico. Sin embargo, la d_e fue calculada por separado para cada una de las zonas. Además se calculó la E para cada zona usando la d_b única y las diferentes d_e .

Análisis estadísticos

Para determinar si existe diferencia significativa entre dos temperaturas o índices que no tuviesen medidas repetidas se aplicaron pruebas de pruebas de t con $\alpha = 0.05$ para muestras paramétricas y pruebas de U de Mann-Whitney en el caso de muestras no paramétricas. Para determinar si existe una diferencia estadística entre las T_p de cada especie y entre los sexos se realizó una ANOVA de medidas repetidas con $\alpha = 0.05$. Todas estas pruebas estadísticas se realizaron con ayuda de dos programas, SPSS (15.0, Chicago SPSS Inc.); y SigmaPlot (11.0, Systat Software, Inc., San Jose CA. USA).

Riesgo de extinción

Para determinar el riesgo de extinción se utilizó la fórmula propuesta por Sinervo y colaboradores (2010):

$$hr [T_o > \bar{T}_p] = \text{pendiente} \times (T_{max} - T_p) + \text{intercepto}$$

Donde: hr = horas de restricción; \bar{T}_{max} = temperatura máxima del aire; T_p = promedio de la temperatura corporal preferida.

Para calcular la T_{max} se usó la información de la estación meteorológica más cercana a las áreas de estudio, utilizando sólo el dato de la hora más caliente de cada uno de los días que los registradores de temperatura tomaron las T_o (Sinervo et al. 2010).

Además, se usaron los datos georreferenciados de los individuos recolectados y de bases de datos (GBIF y CONABIO) para poder proyectar el riesgo de extinción de cada una de las especies dentro de su área de distribución geográfica (Sinervo et al. 2010).

Una vez obtenidos esos datos, se calculó la fórmula anterior con ayuda de un script diseñado en el programa R Development Core Team, 2008, que calcula el riesgo de extinción con base en la pendiente de la fórmula anterior, la distribución de los organismos y capas climáticas de Worldclim (plantilla proporcionada por B. Sinervo), dando como resultado una tabla de datos en donde se expresa el riesgo de extinción de las dos lagartijas en cada una de las localidades de su área de distribución. Esta tabla se graficó sobre un mapa del área de distribución de las dos especies, con ayuda del programa JMP® (10.0. SAS Institute Inc., Cary, NC) para expresar de manera gráfica el riesgo de extinción.

Resultados

Se recolectó un total de 23 individuos de *P. taurus* (12 hembras y 11 machos) en las dos zonas de estudio. La mayoría de estos individuos se encontró cerca de arbustos. No se hizo distinción para la termorregulación entre sexos en ésta especie, debido a la baja cantidad de organismos colectados.

Respecto a *P. asio*, se recolectaron 175 individuos (84 hembras y 91 machos), asociados principalmente a pequeños arbustos. Además, se hizo distinción entre los requerimientos térmicos de cada sexo. Sin embargo, sólo fue posible encontrar *P. asio* en la zona 1.

Periodo de actividad y Termorregulación

Phrynosoma taurus

Se encontró que *P. taurus* presenta un periodo de actividad diurno bimodal, desde las 8:00 hasta las 15:00 horas GTM (Figura 3.01), donde es más frecuente su observación de las 09:00 a las 11:00 horas, seguido de un descenso en su actividad entre 12:00 y 14:00 horas y finalmente un segundo pico de actividad de 14:00 a 15:30 horas. Se encontró que la actividad inicia con los 25°C como mínimo de T_o y cesa con temperaturas muy variables de T_o (de 22°C a 33°C aproximadamente).

La T_c promedio fue de $33.2 \pm 0.73^\circ\text{C}$, mientras que el promedio de T_p fue de $34.35 \pm 0.23^\circ\text{C}$ (con cuartiles de 32.4°C - 36.6°C) (Tabla 1.1).

En cuanto a la calibración, el valor de R^2 fue de 0.9 ($n = 52$; $P < 0.0001$), esto quiere decir que las T_o s de los modelos biofísico son similares a las de individuos de *P. taurus* (figura 3.02).

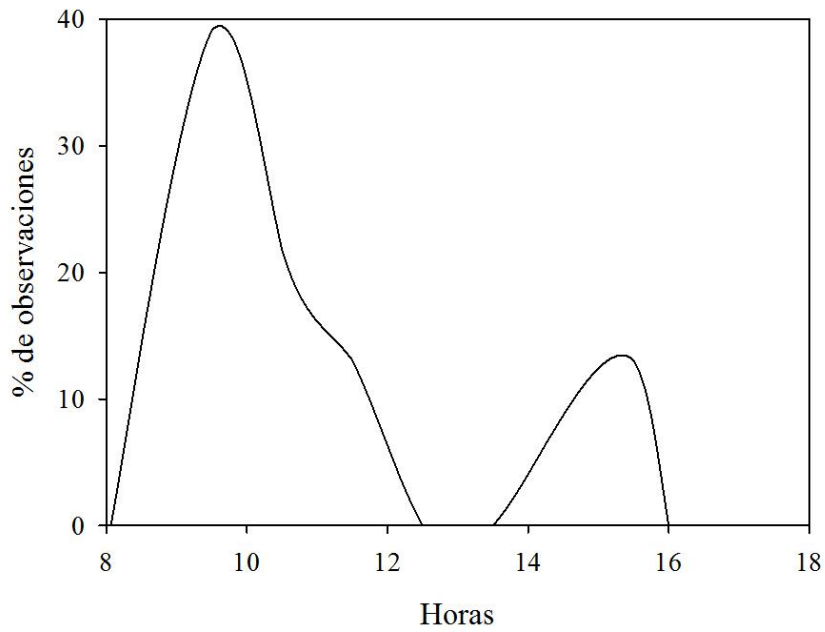


Figura 3.01: Horario de actividad de *P. taurus* elaborado con el porcentaje de observaciones a lo largo de los muestreos.

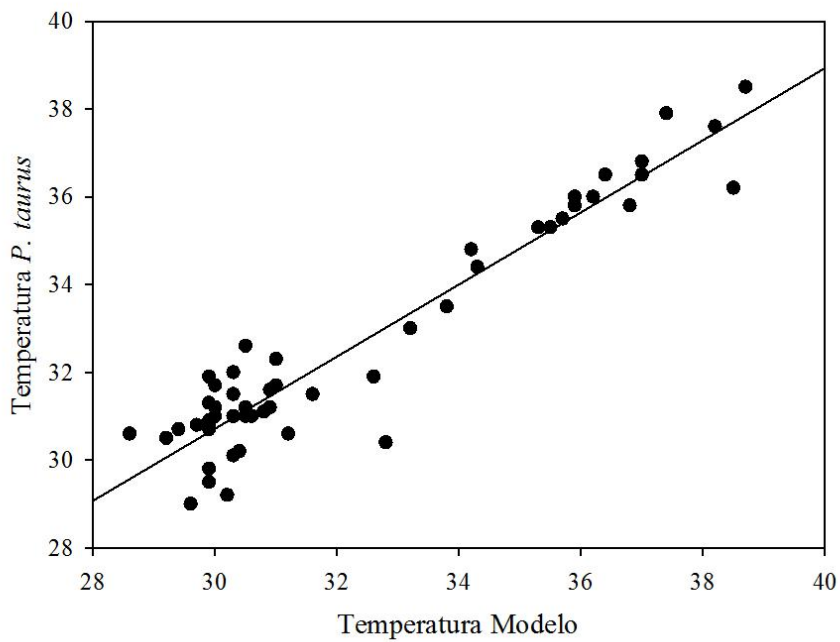


Figura 3.02: Correlación construida con los datos de temperatura de un individuo de *P. taurus* y del modelo de PVC.

Las dos zonas tuvieron más el 90 % de las T_o fuera del intervalo de las T_p , donde la mayor parte de estas T_o se encuentran por debajo del intervalo de T_p (Figuras 3.03 y 3.04). Sin embargo, en los dos lugares hubo un mayor porcentaje de T_o dentro del intervalo de T_p entre las 9:00 y 11:00 horas (Figura 3.04).

La d_b fue alta (1.3 ± 0.4 °C), mientras que la d_e fue baja para los dos zonas (Tabla 1.1). En cuanto a la E , se puede decir que *P. taurus* es altamente eficiente, ya que se obtuvo un valor de E mayor a 0.7 en las zonas de estudio (Tabla 1.1).

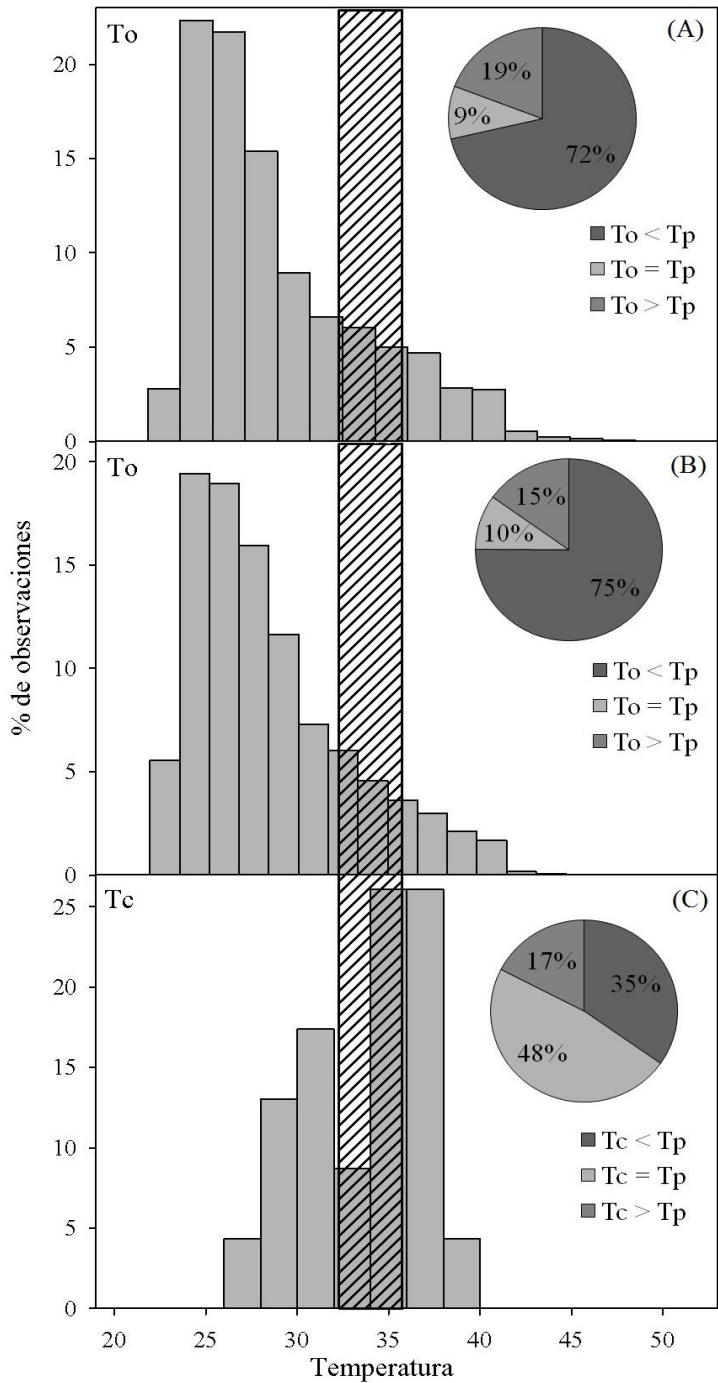


Figura 3.03: Porcentaje de observación de T_c y T_o de *P. taurus*. La barra achurada representa el intervalo de T_p . El inciso A representa las T_o de la zona 1, el B las T_o de la zona 2 y el C las T_c de *P. taurus*. Las gráficas de pastel representan el porcentaje de temperaturas (T_o y T_c) mayores, menores y dentro del intervalo de T_p .

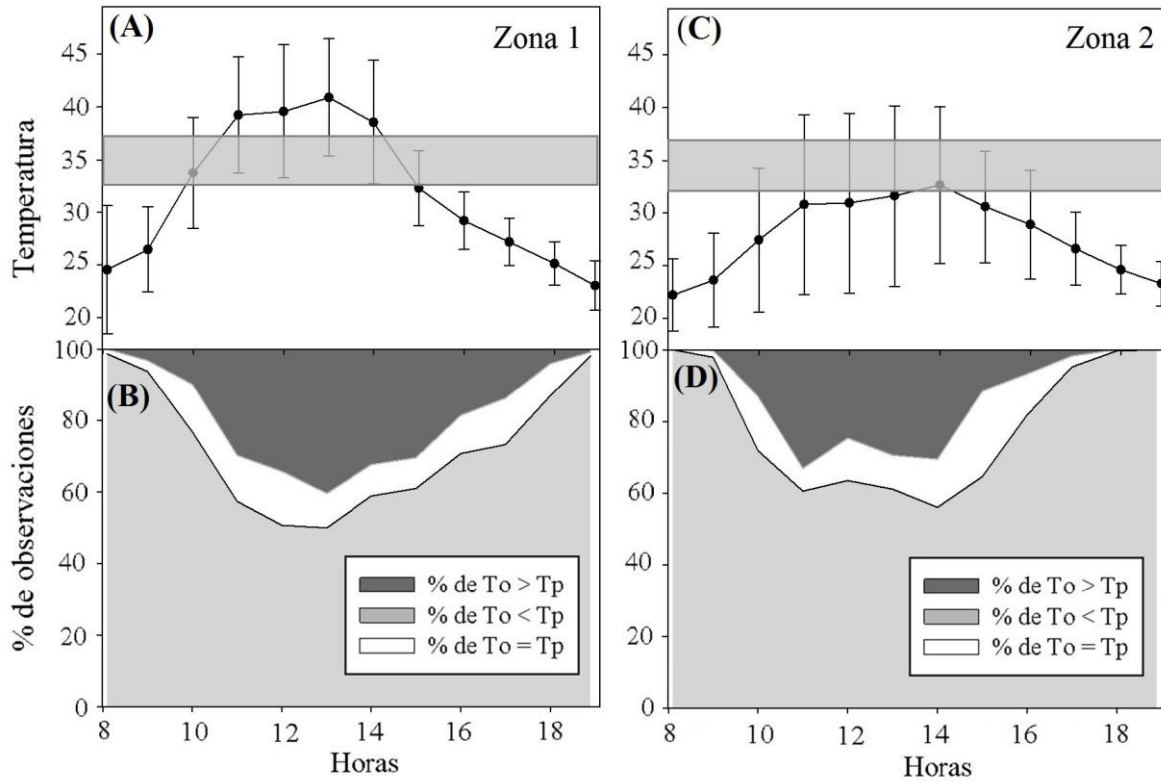


Figura 3.04: Porcentaje de observaciones de T_o de *P. taurus* de la zona 1 y 2 durante todo el año. Donde A y C representan el promedio y desviación estándar de las T_o por hora, y B y D representan los porcentajes de T_o por debajo, dentro y por arriba del intervalo de T_p .

T_c (°C)	T_p (°C)	Intervalo de T_p (25-75%)	d_b (°C)	Zona	d_e (°C)	E
33.2 ± 0.7	34.4 ± 0.2	32.4-36.6	1.3 ± 0.4	1	6.3 ± 0.05	0.79
				2	6.2 ± 0.05	0.79

Tabla 1.1: Promedio de T_c , T_p , d_b , d_e , intervalo de T_p y valor de E para *P. taurus* obtenidos en este estudio.

Phrynosoma asio

El periodo de actividad fue diurno, abarcando desde las 8:00 hasta las 18:00 horas, periodo en el que se observó el primer y último organismo activo (con temperatura corporal mayor a 25°C) (Figura 3.05). Se encontró que la actividad inicia con los 25°C como mínimo de T_o y cesa con temperaturas muy variables que pueden estar por encima de los 25°C de T_o .

La T_c promedio para *P. asio* fue de $33.43 \pm 0.3^\circ\text{C}$ y no se encontró diferencia significativa entre el promedio de T_c entre sexos ($U=3365$, $P=0.17$) (Tabla 1.2)

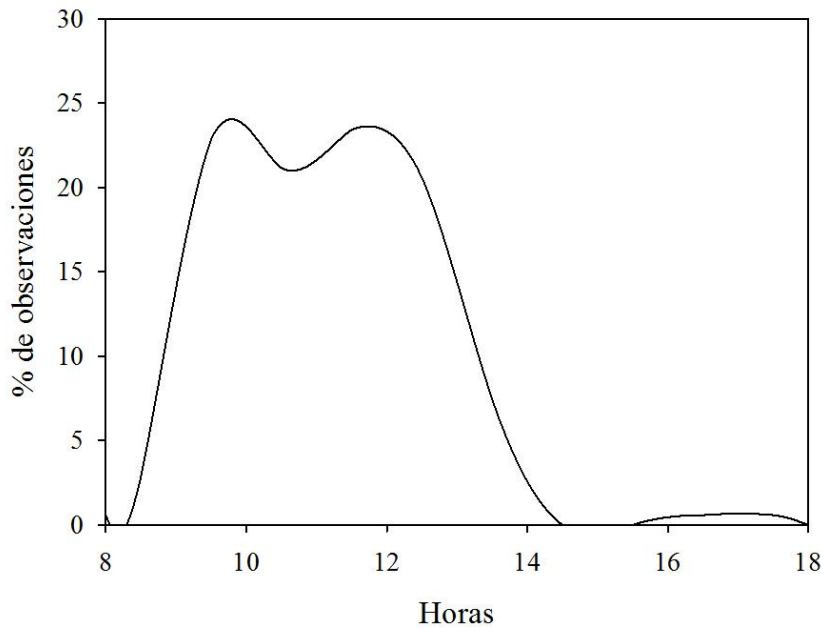


Figura 3.05: Horario de actividad de *P. asio* elaborado con el porcentaje de observaciones a lo largo de los muestreos.

Para la obtención de las T_p se utilizaron 67 lagartijas (33 hembras y 34 machos), que fueron colectadas en octubre 2010 y de abril a julio de 2012. La T_p promedio fue de $35.9 \pm 1.5^\circ\text{C}$ (cuartiles de 34.35°C - 38°C) y no existió diferencia en la T_p entre sexos (λ de Wilks = 0.89, $F_{7,16}$, $P = 0.624$).

Para la calibración del modelo biofísico de T_o se encontró una correlación significativa de la T_c y las T_o del modelo durante la calibración ($R^2 = 0.857$; $n = 69$; $P < 0.0001$) (Figura 3.06).

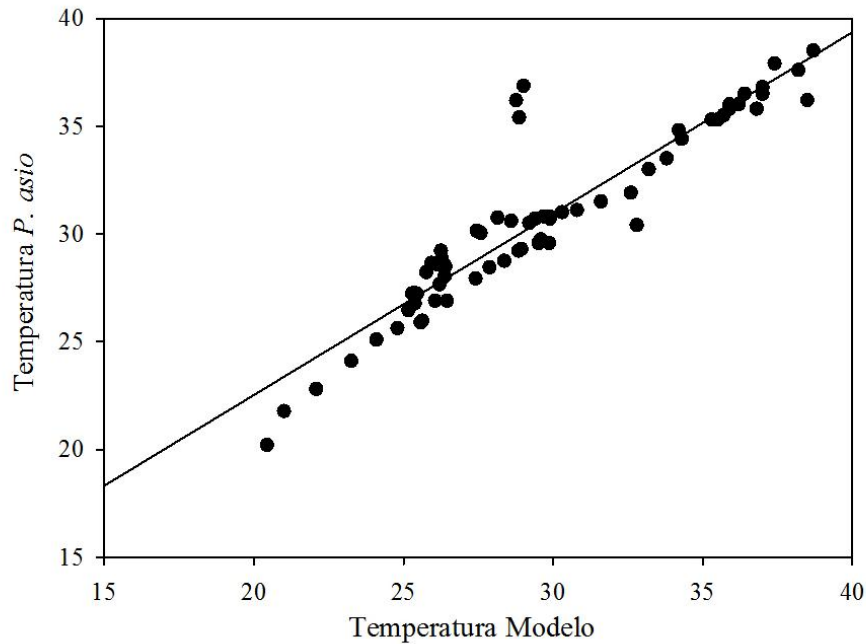


Figura 3.06: Correlación construida con los datos de temperatura de un individuo de *P. asio* y del modelo de PVC.

En cuanto a la precisión en la termorregulación de *P. asio*, ésta fue considerada alta ($d_b = 1.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$) ya que los individuos mantuvieron temperaturas corporales dentro del intervalo preferido en laboratorio. Sin embargo, la calidad térmica del hábitat disponible para las lagartijas fue considerada baja ($d_e = 8.02 \pm 0.05^\circ\text{C}$), la cual se caracteriza por un alto porcentaje de temperaturas microambientales fuera del intervalo de temperaturas preferidas; encontrando que más del 90% de las T_o registradas se encuentran fuera del intervalo de T_p de ésta lagartija (Figura 3.07 y 3.08).

Finalmente, se puede decir que *P. asio* es altamente eficiente en la regulación de su temperatura, ya que se obtuvo una $E = 0.77$ (Tabla 1.2).

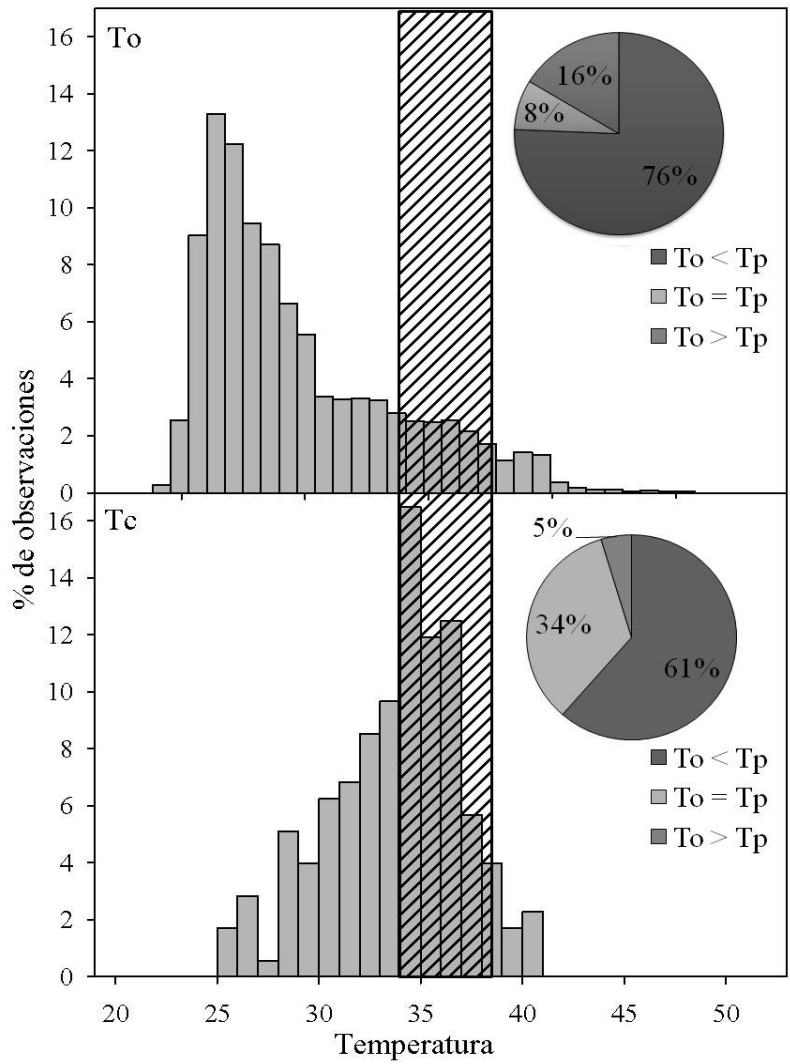


Figura 3.07: Porcentaje de observación de T_c y T_o de *P. asio*. La barra achurada representa el intervalo de T_p . Las gráficas de pastel representan el porcentaje de temperaturas (T_o y T_c) mayores, menores y dentro del intervalo de T_p .

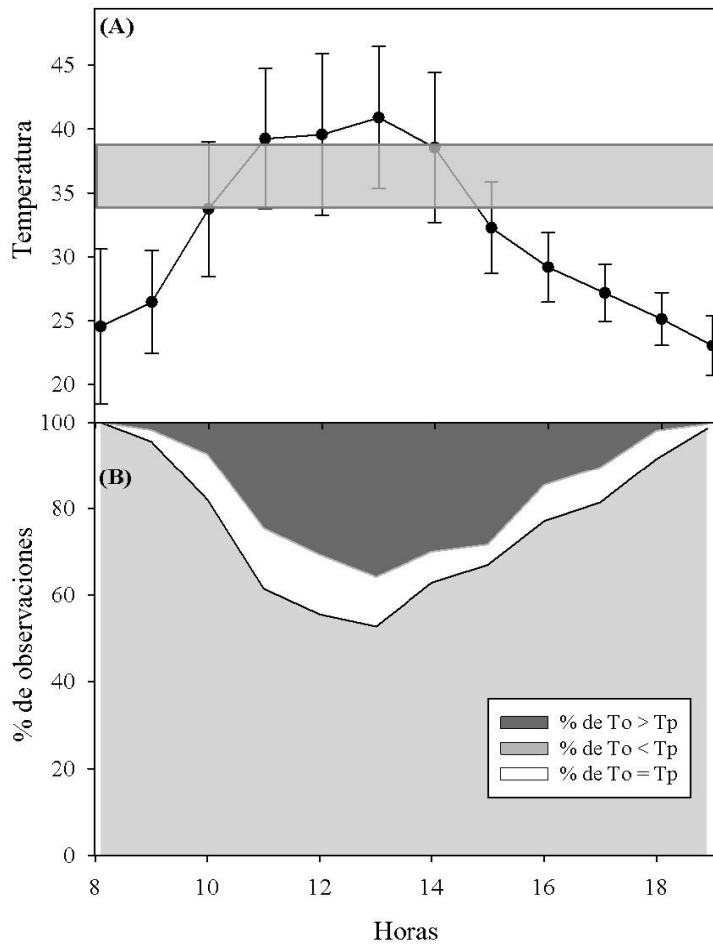


Figura 3.08: Porcentaje de observaciones de T_o para *P. asio* en la zona 1. Donde (A) representa el promedio y desviación estándar de las T_o por hora; y (B) se representan los porcentajes T_o por debajo, dentro y por arriba del intervalo de T_p .

Sexo	T_c (°C)	T_p (°C)	Intervalo de T_p (25-75%; °C)	d_b (°C)	d_e (°C)	E
Todos	33.43 ± 0.3	35.9 ± 0.1	34.35-38.0	1.8 ± 0.2	8.02 ± 0.1	0.77
Hembras	33.8 ± 0.4	36.2 ± 0.2				
Machos	33.13 ± 0.3	35.2 ± 0.2				

Tabla 1.2: Promedio de T_c , T_p , d_b , d_e , intervalo de T_p y valor de E para *P. asio*.

Comparación en la termorregulación

No se encontró diferencia significativas entre las T_c ($U = 2022.5$, $P = 0.99$), ni entre las T_p de *P. asio* y *P. taurus* (λ de Wilks = 0.93, $F_{7,16}$, $P = 0.538$) (Tabla 1.3)

Especie	T_c (°C)	T_p (°C)	Intervalo de T_p (°C) (25-75%)	d_b (°C)	d_e (°C)	<i>E</i>
<i>P. taurus</i>	33.2 ± 0.7	34.4 ± 0.2	32.4-36.6	1.3 ± 0.4	6.3 ± 0.1	0.79
<i>P. asio</i>	33.4 ± 0.3	35.9 ± 0.1	34.35-38	1.8 ± 0.2	8.02 ± 0.1	0.77

Tabla 1.3 Requerimientos térmicos por especie. Sólo fueron tomados los datos de la zona 1, lugar donde las dos especies coexisten.

No hubo diferencias significativas entre las d_b ($U = 15488$, $P = 1$), ni entre las d_e de las dos lagartijas en la zona 1 ($U = 59088139.5$, $P = 0.895$).

Se encontró que la especie más abundante fue *P. asio*, no obstante, sólo fue encontrada en la zona 1.

Temperaturas operativas y Calidad térmica

Se encontró que existe una diferencia significativa entre las T_o de las dos zonas de estudio y entre las T_o por estación, así como entre las d_e estación en la zona 1, lugar donde las dos especies coexisten (Tabla 1.4 y Tabla 1.5).

Zona	T_o (°C)	Diferencia entre zonas	T_o lluvias (°C)	T_o secas (°C)	Diferencia entre estaciones
1	29.4 ± 0.1	U= 20064933.5, P = <0.001	28.4 ± 0.1	34.2 ± 0.3	U = 1433670, P = <0.001
2	28.7 ± 0.1		26.3 ± 0.1	33.6 ± 0.1	U = 2148612.5, P = <0.001

Tabla 1.4: Promedios de T_o por zona y estación, así como la diferencia estadística. No se hace distinción entre especie, debido a que se ocuparon los mismo modelos para ambas especies.

Especie	d_e lluvias (°C)	d_e secas (°C)	Diferencia
<i>P. taurus</i>	6.5 ± 0.1	5.1 ± 0.1	U = 1862440.5, P = <0.001
<i>P. asio</i>	7.8 ± 0.1	5.5 ± 0.1	U = 1706245.5, P = <0.001

Tabla 1.5: Promedios de d_e por estación y especie. También se muestra si existe diferencia estadística.

Además, la proporción de T_o dentro del intervalo de preferidas cambia cuando las T_o s son separadas por estación, teniendo que en época de secas el 85% de las T_o s están fuera del intervalo de T_p , pero hay un mayor porcentaje de T_o s por arriba de aquel intervalo (más del 30%) (Figura 3.09, 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13). Mientras que en época de lluvias casi el 95% de las T_o s se encuentran fuera del intervalo de T_p (figuras 3.09). Incluso si hipotéticamente *P. asio* se encontrará en la zona 2 en época de lluvias probablemente tendría pocas oportunidades para termorregular (Figura 3.14).

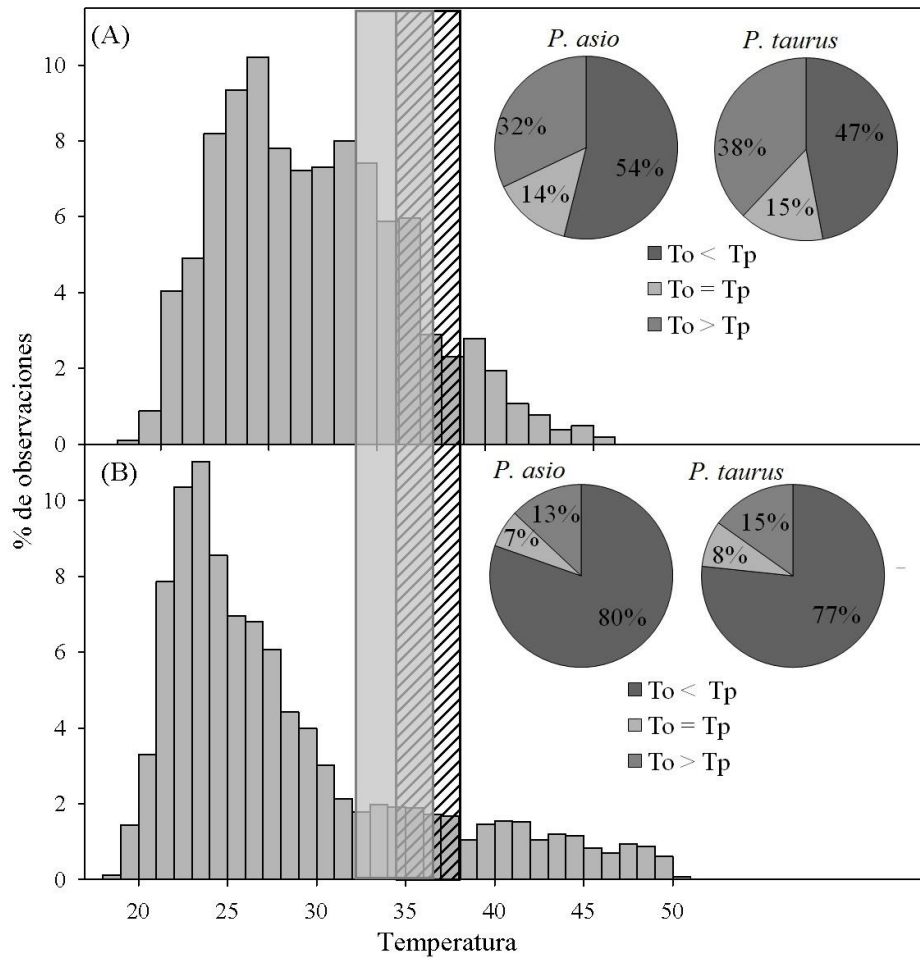


Figura 3.09: Porcentaje de observación de T_c y T_o de *Phrynosoma taurus* y *P. asio* en la zona 1 (lugar donde se encuentran en simpatria). La barra translúcida representa el intervalo de T_p de *P. taurus* y la barra achurada representa el intervalo de T_p *P. asio*. Las gráficas de pastel representan el porcentaje de temperaturas (T_o y T_c) mayores, menores y dentro del intervalo de T_p . A representa T_o de época de secas, mientras B son las T_o en la temporada de lluvias.

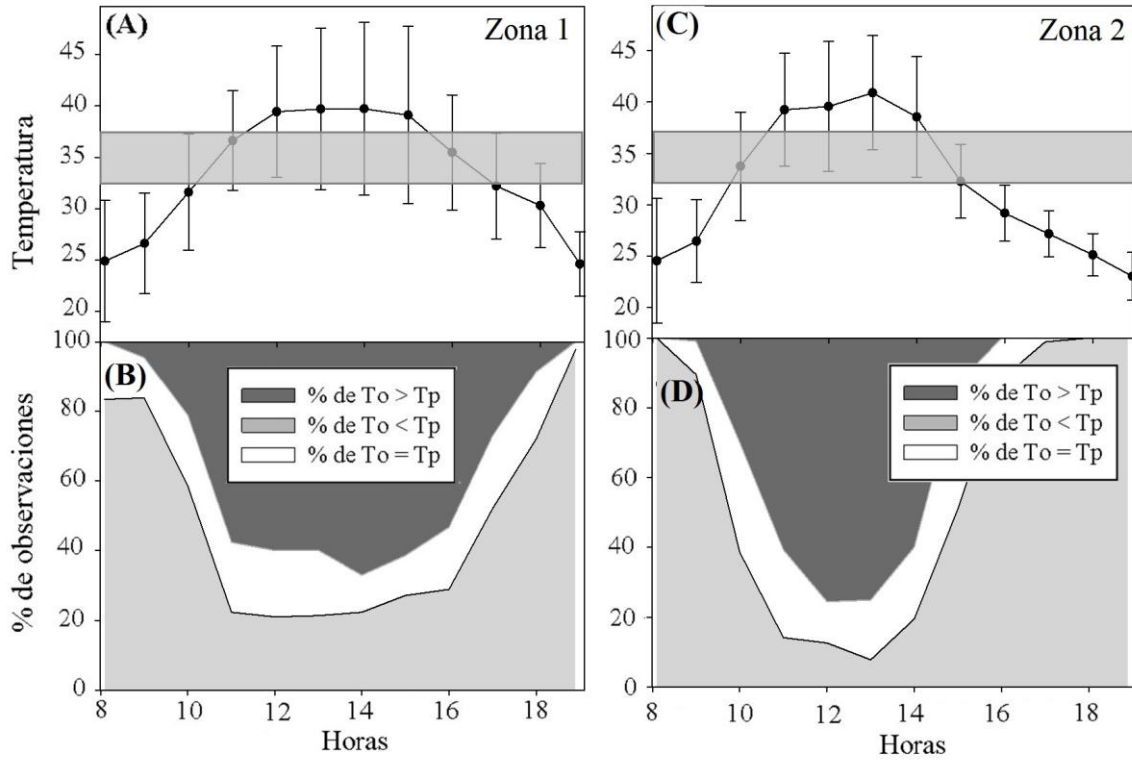


Figura 3.10: Porcentaje de observaciones de T_o de *P. taurus* de la zona 1 y 2 durante la época de secas. A y C representan el promedio y desviación estándar de las T_o por hora, y B y D representan los porcentajes de T_o por debajo, dentro y por arriba del intervalo de T_p .

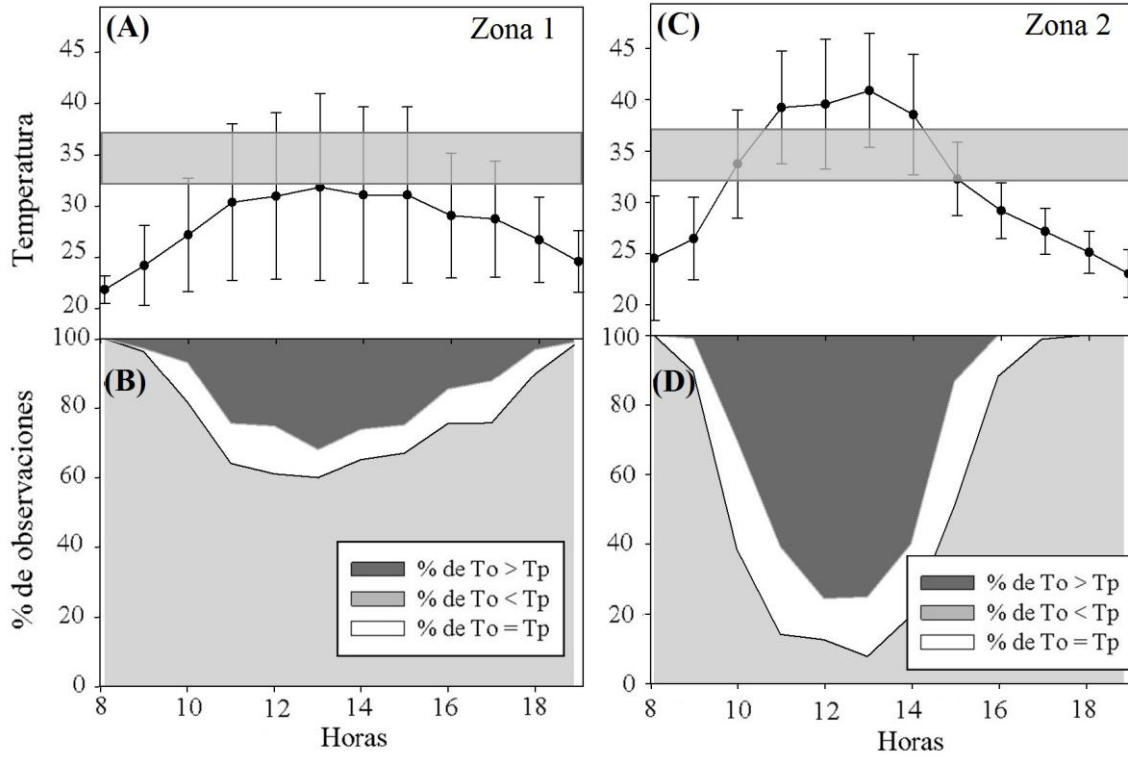


Figura 3.11: Porcentaje de observaciones de T_o de *P. taurus* de la zona 1 y 2 durante la época de lluvias. A y C representan el promedio y desviación estándar de las T_o por hora, y B y D representan los porcentajes de T_o por debajo, dentro y por arriba del intervalo de T_p .

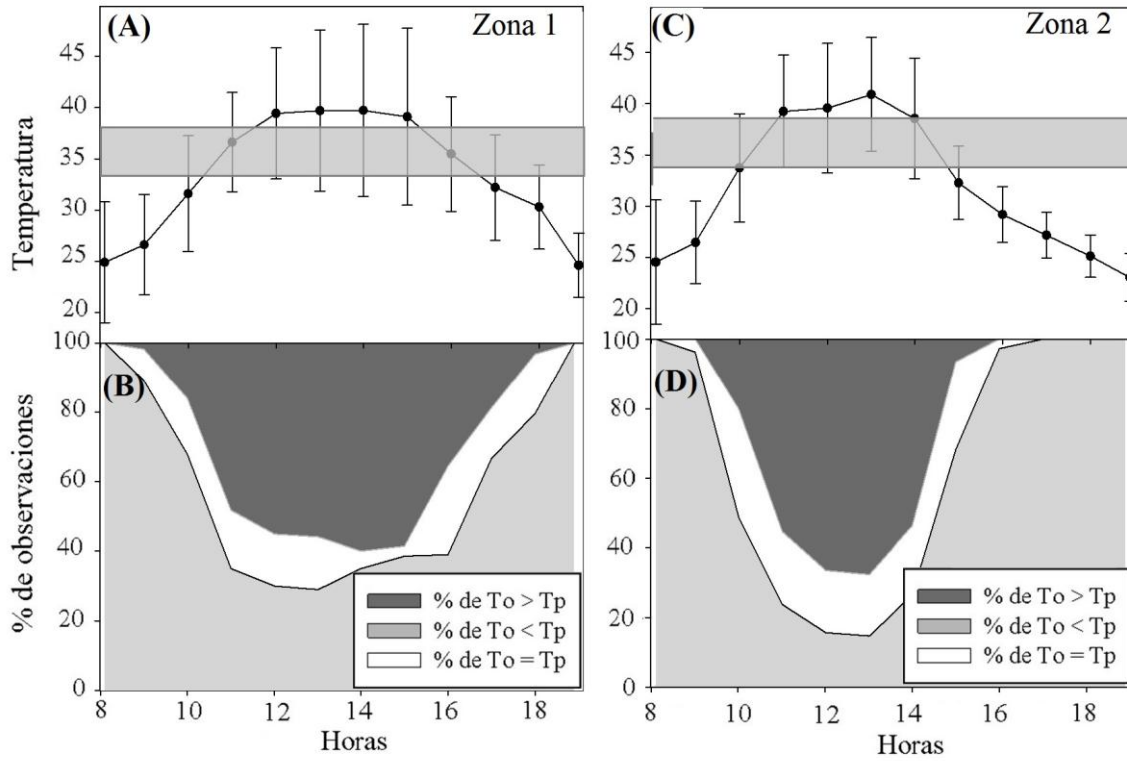


Figura 3.12: Porcentaje de observaciones de T_o de *P. asio* de la zona 1 y zona 2 (caso hipotético) durante la época de secas. A y C representan el promedio y desviación estándar de las T_o por hora, y B y D representan los porcentajes de T_o por debajo, dentro y por arriba del intervalo de T_p .

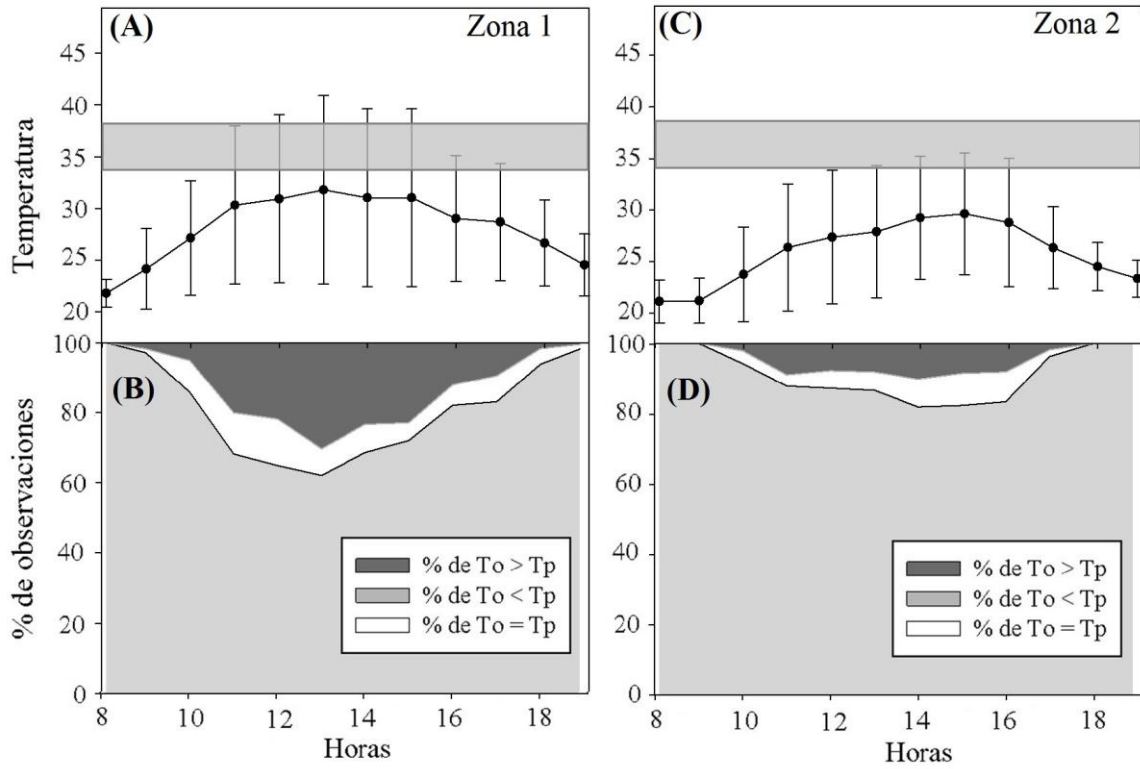


Figura 3.13: Porcentaje de observaciones de T_o de $P. asió$ de la zona 1 y zona 2 (caso hipotético) durante la época de lluvias. A y C representan el promedio y desviación estándar de las T_o por hora, y B y D representan los porcentajes de T_o por debajo, dentro y por arriba del intervalo de T_p .

Riesgo de Extinción

Para *Phrynosoma taurus*, se encontró una pendiente de $hr = 4.524 + 0.315x (T_{max} - T_p)$. El área más afectada, además de contar con altas temperaturas y poca precipitación se encuentra en su mayoría en lugares donde no hay registros de ésta especie, como es el este de Guerrero y varios lugares de Morelos (Figura 4.01 y 4.02).



Figura 4.01: Mapa que muestra el riesgo de extinción de *P. taurus*. Los puntos negros representan los registros de ésta especie y los colores representan el riesgo extinción en el tiempo.

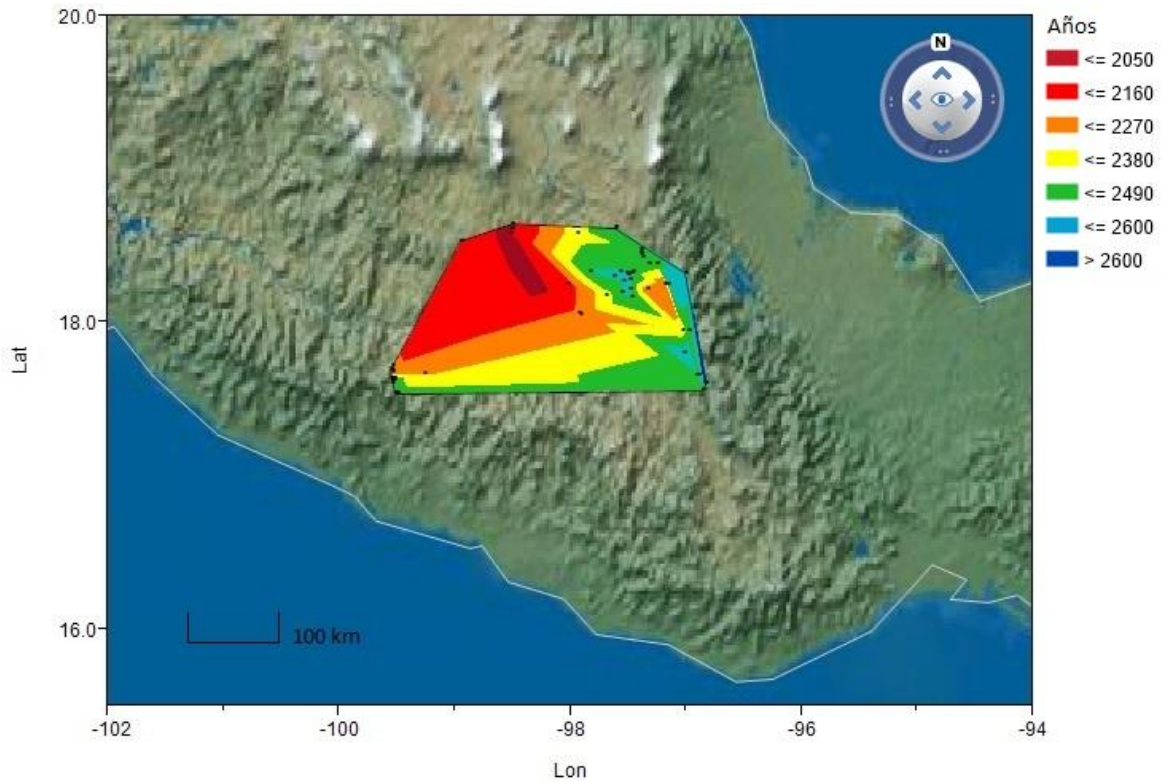


Figura 4.02: Mapa a menor escala que muestra el riesgo de extinción de *P. taurus*. Los puntos negros representan los registros de ésta especie y los colores representan el riesgo extinción en el tiempo.

En cuanto a *P. asio*, se encontró una pendiente de $hr = 4.494 + 0.194 \times (T_{max} - T_p)$. A pesar de que el área de distribución es mucho mayor a *P. taurus*, esta lagartija presentó una mayor área con un alto riesgo de extinción, siendo más afectado la parte norte y oeste de su distribución (Figura 4.03 y 4.04)

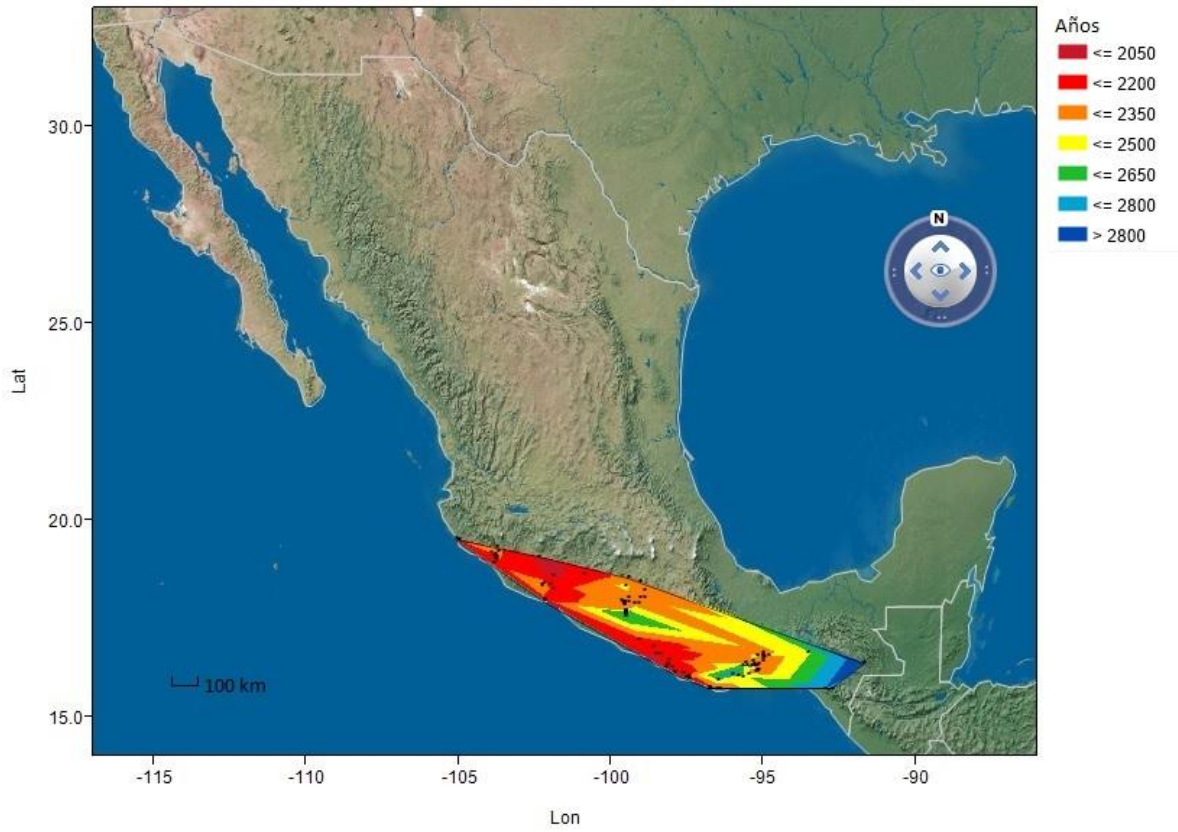


Figura 4.03: Mapa que muestra el riesgo de extinción de *P. asio*. Los puntos negros representan los registros de ésta especie y los colores representan el riesgo extinción en el tiempo.

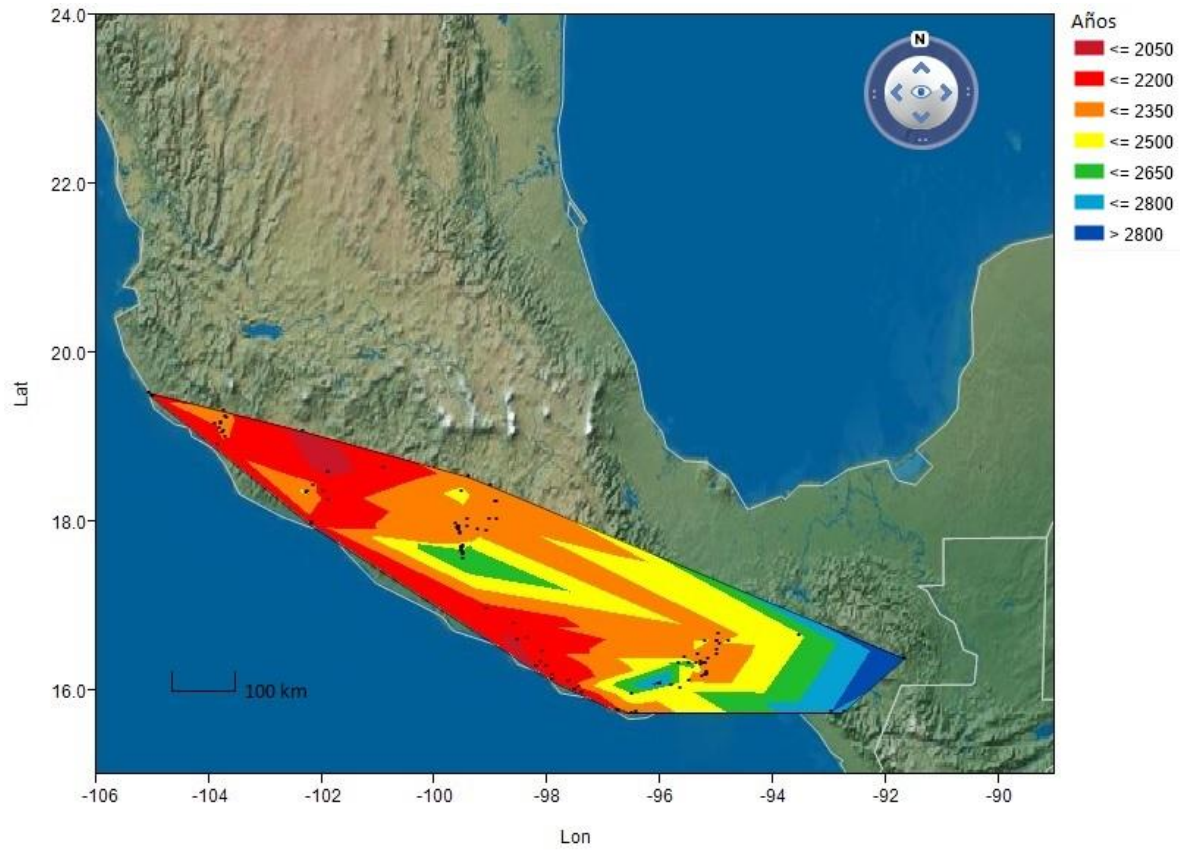


Figura 4.04: Mapa a menor escala que muestra el riesgo de extinción *P. asio*. Los puntos negros representan los registros de ésta especie y los colores representan el riesgo extinción en el tiempo.

Discusión

Horario de actividad

El periodo de actividad de los organismos forma parte de su historia de vida (Adolph y Porter, 1993). Así mismo, el periodo de actividad puede ser afectado por varios factores, ya sean genéticos o ambientales (p. ej. temperatura, disponibilidad de alimento, competencia, etc.) (Adolph y Porter, 1993; García-De la Peña *et al.* 2007). Además en los reptiles uno de los factores principales que afectan el ciclo de actividad es la temperatura (Heat, 1962; Sinervo *et al.* 2010). En algunos miembros de la familia Phrynosomatidae, es común que comiencen su actividad en la segunda mitad de la mañana, sin importar que haya o no temperaturas microambientales menores a su intervalo de temperaturas preferidas, ya que en algunos especies, como *Phrynosoma cornutum* y *Dipsosaurus dorsalis*, el inicio de la actividad tiene más relación con el ritmo circadiano que con las temperaturas microambientales óptimas, siempre y cuando existan temperaturas óptimas para que las lagartijas puedan desplazarse (Heat, 1962; Sherbrooke, 2003). Este fue el caso de *P. taurus* y *P. asio*, ya que estas lagartijas estuvieron activas en la segunda mitad de la mañana, a pesar de que las T_o generalmente estuvieron por debajo del intervalo de temperaturas preferidas. Además, se encontraron similitudes con el periodo de actividad de las especies de este estudio con el periodo de actividad de *P. orbiculare* en El Arenal, Estado de México, ya que ésta especie está activa durante la mañana y también un pequeño pico de actividad vespertina (Arias-Balderas, 2011). Este patrón en el horario de actividad también es similar al de algunas lagartijas del desierto, como *Uta steyneregi* y *Uma exsul*, que a pesar de estar activas más tiempo que *P. taurus* y *P. asio*, presentan un patrón de actividad bimodal y están activas en la segunda mitad de la mañana durante la primavera y verano (García-De la Peña *et al.* 2007).

Las similitudes en el horario de actividad con éstas lagartijas del desierto se debe seguramente a que el género *Phrynosoma* evolucionó a partir de lagartijas adaptadas a vivir en lugares áridos y en dunas de arena (Montanucci, 1987; Leache y McGuire, 2009), así mismo, los géneros *Uma* y *Uta* se encuentran cercanos filogenéticamente al género *Phrynosoma* (Leache y McGuire, 2009). Sin embargo, durante el invierno, *U. steyneregi* y *U. exsul* presentan un ciclo de actividad unimodal, mientras que la mayor parte del género *Phrynosoma* presenta un estado de

estivación durante dicha estación (Sherbrooke, 2003), probablemente debido la poca disponibilidad de temperaturas en el ambiente y a que los miembros del género guardan sus energías para estar activos en vísperas de la etapa reproductora, lapso en el cual, las temperaturas ambientales son adecuadas para estos reptiles (Pianka y Parker, 1972; Adolph y Porter, 1993). No obstante, el horario de actividad de *P. taurus* y *P. asio* no se parece al de otras lagartijas heliótermas de la familia Phrynosomatidae que no se distribuyen en lugares áridos, como *Sceloporus bicanthalis* que es una lagartija ovípara y *S. aeneus* una lagartija vivípara, lagartijas que presentan un periodo unimodal y que se encuentran activas durante el medio día (Lara-Resendiz, 2008). Esto sugiere que la diferencia en el patrones de actividad de estas lagartijas pueden deberse a los ritmos circadianos más que a la temperatura (Heat, 1962; Refinetti y Susalka, 1997). Sin embargo, las temperaturas bajas pueden ser una limitante para que los organismos estén activos en las primeras horas de la mañana en un lugar templado (Huey y Bennet, 1987).

Termorregulación

Los resultados obtenidos sugieren que las dos especies analizadas en este trabajo son termorreguladores activos. Además, sus T_c fueron similares a otras lagartijas de la familia Phrynosomatidae citadas por Sinervo *et al.* (2010), quienes mencionan T_c desde 26.8 hasta 41.5 °C con un promedio de 35.2 ± 0.20 °C. La T_c y T_p fueron similares entre *P. asio* y *P. taurus*, sin haber diferencia significativa entre ellos, esto se debe a que las temperaturas que les ofrece el ambiente a las dos especies son muy similares y a su vez las dos especies son termorreguladores activos (Huey y Slatkin, 1976; Hertz *et al.* 1993). Así mismo, cuando se compara la T_c y la T_p de estas lagartijas contra las temperaturas de otros miembros ovíparos del género *Phrynosoma* y lagartijas estrechamente emparentadas como *Holbrookia maculata*, *Cophosaurus texanus*, *Callisaurus draconoides* y *Uma notata* (Leaché and McGuire, 2006) se observa que las temperaturas de *P. asio* y *P. taurus* son ligeramente menores que la mayoría de las especies de phrynosomátidos (Brattstrom, 1965; Cowles and Bogert, 1944; Pianka and Parker, 1975; Prieto and Whitford, 1971). Esto puede deberse a las temperaturas que le ofrece el ambiente a *P. asio* y *P. taurus* en las áreas de estudio son más bajas que las temperaturas disponibles en los hábitats de

las otras especies de lagartijas. Sin embargo, las T_c y T_p de *P.asio* y *P. taurus* resultaron ser muy similar a las temperaturas de la mayoría de especies vivíparas de este género y algunas lagartijas del género *Sceloporus*, en especial las lagartijas relativamente cercanas a la distribución de éstas dos especies (Sherbrooke, 2003; Sinervo et al., 2010; Vázquez-Urzúa, 2006). Esto sugiere que a pesar de que exista una base genética para la selección de las temperaturas preferidas en lagartijas, el ambiente puede influenciar ésta selección de temperaturas, como una respuesta adaptativa a las condiciones ambientales (Huey y Bennet, 1987; Sinervo, 1990). No obstante, se requieren datos moleculares y más datos de temperatura para poder asegurar este último punto, ya que no se hizo distinción en las edades, las condiciones reproductoras de las lagartijas, debido a que la T_p puede variar entre estos parámetros, así como entre el sexo de los organismos (Sinervo, 1990; Shine 1980). Sin embargo, a pesar de que no se hizo una comparación entre la T_p de hembras y machos en el caso de *P. taurus*, se realizó esta distinción para *P. asio*, encontrándose que no existió diferencia significativa entre las T_p de hembras y machos en el caso de *P. asio*. No obstante, se necesitan datos de T_p de hembras grávidas, ya que en ciertas ocasiones este tipo de hembras en algunas especies lagartijas y serpientes tienen T_p s más altas que las hembras no grávidas, debido a que las hembras grávidas seleccionan temperaturas mayores con el fin de acelerar el desarrollo embrionario y para compensar su poca movilidad (Shine, 1980; Blaquez, 1995; Hitchcock y McBrayer, (2006).

Phrynosoma taurus y *P. asio* adoptaron una estrategia euriterma, debido a que estas lagartijas presentaron una amplia variación en su T_c y T_p . De acuerdo con el modelo costo-beneficio de Huey & Slatkin (1976) un organismo euritermo en un ambiente de bajo costo (calidad térmica alta) puede regular su T_c de manera parcial, pero nunca completamente. Los resultados que se obtuvieron concuerdan con lo anterior, ya que *P. taurus* y *P. asio* resultaron ser altamente precisos y eficientes en su termorregulación en las localidades donde fueron encontrados, zonas que por lo general tuvieron una baja calidad térmica. Siendo esto muy similar a lo que sucede con algunos *Sceloporus* de alta montaña o algunos geckos nocturnos, que a pesar de la baja calidad térmica, pueden permanecer fuera del intervalo de T_p por más de 5°C, y regular eficientemente su

temperatura corporal en niveles térmicos subóptimos (Lara-Resendiz, 2010; Lara-Resendiz *et al.* 2013).

Comparación entre especies

La ausencia de diferencias significativas entre los requerimientos térmicos de *Phrynosoma taurus* y *P. asio* concuerda con el tipo de hábitats en los que se distribuyen, ya que ambas especies viven en ambientes similares (Sherbrooke, 2003). Además, estas lagartijas llegan a encontrarse en simpatria en los extremos de su área de distribución; a pesar de que se distribuyen en un intervalo altitudinal diferente (Sherbrooke, 2003; Hodges, 2004 Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén 2010). Sin embargo, los dos organismos tienen modos reproductores diferentes, y una de las hipótesis sobre el origen de la viviparidad (hipótesis del clima frío) sugiere que en muchos casos, ésta surgió como una respuesta ante las bajas temperaturas (Méndez-De la Cruz *et al.* 1998; Hodges, 2004). No obstante, puede existir una tendencia a que las especies vivíparas tengan una T_p menor que las especies ovíparas, debido a que las vivíparas se encuentran en lugares más fríos generalmente (Sherbrooke, 2003). Sin embargo, se ha observado en el género *Phrynosoma* que las hembras preñadas tienen temperaturas más altas que el resto de los individuos, en contrastes con otras lagartijas vivíparas, (Méndez-De la Cruz *et al.* 1998; Hodges, 2004; Uruzúa-Vázquez, 2008). Éste puede ser el caso de *P. taurus*, no obstante, se necesita obtener una muestra representativa de temperaturas de hembras preñadas, cosa que no se pudo hacer en este estudio.

Además, se encontró que en la zona 1 hay un mayor número de individuos de *Phrynosoma asio* que de *P. taurus*, ya que en un día típico de muestreo se encontraban alrededor de un *P. taurus* por cada diez *P. asio*; mientras que en la zona 2, no se encontró ningún individuo de *P. asio*. Estas diferencias en el número de individuos, parece que no dependen de los requerimientos térmicos, debido a que son muy similares. Sin embargo, pueden existir otros factores que provocan estas diferencias. La diferencia en la altitud entre las zonas puede ser una de estas causas, ya que las dos especies se encuentran en simpatria en el límite altitudinal de su distribución (*P. taurus* en uno de los límites más bajos y *P. asio* en uno de los límites con mayor altitud), por lo que unos

pocos metros de diferencia pueden provocar que existan ciertas condiciones ecológicas diferentes para que alguna de los individuos de las dos especies sean abundantes o escasos en las dos zonas de estudio (Morrone, 2001; Hodges, 2004; Leache y McGuire, 2006). Otra de las causas de estas discrepancias en el número de individuos y el área de distribución, se debe a las diferencias en los hábitos alimentarios entre especies, ya que aunque las dos especies se alimentan de hormigas principalmente, son diferentes las especies de estos insectos de las cuales se alimenta *P. taurus* y *P. asio* (Lemos-Espinal *et al.* 2004). Así mismo, *P. taurus* es una de las especies del género con dieta más variada, ya que un gran porcentaje de otros insectos forman parte de su dieta, como isópteros y coleópteros (Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén 2010; Beltrán-Sánchez *com. pers.*).

Tomando en cuenta lo anterior, para futuros estudios es necesario realizar investigación sobre los requerimientos térmicos de las hembras preñadas de *Phrynosoma taurus* y de los otros adultos; y posteriormente, si es que se presentan diferencias, hacer una comparación con *P. asio*. De esa manera, se podrá asegurar si hay alguna diferencia entre los requerimientos térmicos de estas dos lagartijas. Sin embargo, la rareza de *P. taurus* hace que esto sea una tarea muy difícil y para lograr esto se requiere incrementar de manera considerable el esfuerzo y el tiempo de muestreo.

Temperaturas Operativas y Calidad térmica

Las T_o representan la temperatura de equilibrio de un objeto inanimado con su hábitat y permiten explorar el ambiente térmico en su misma escala espacial; además pueden ser replicadas con facilidad para medir múltiples condiciones térmicas espacio-temporales (Bakken, 1992). En este trabajo se encontró que las T_o de las zonas son diferentes, probablemente debido a las diferencias en altitud y precipitación (Row y Blouin-Demers, 2006; Weatherhead *et al.* 2012).

Además, en la zona 2 existió un porcentaje más amplió de T_o dentro del intervalo de T_p en las horas de mayor actividad. Esto puede influir en el número de individuos de cierta población de lagartijas (Díaz, 1997; Huey *et al.* 2009). Por esta razón, se pudieron haber encontrado un mayor número de *P. taurus* en este lugar. Sin embargo, esto puede deberse a la cobertura vegetal, ya

que esta localidad es un bosque tropical caducifolio con vegetación muy abundante; además, todos los individuos de *P. taurus* fueron encontrados exclusivamente en lugares con mucha cobertura vegetal. Esto sugiere que *P. taurus* depende en cierta medida de la vegetación, al igual que otros miembros del género, que alternan episodios de sol y sombra proporcionada por la vegetación para regular su temperatura corporal (Woolrich-Piña *et al.* 2012), por lo que *P. taurus* tendría una mayor oportunidad de termorregular en la zona 2. Además, posiblemente la vegetación le ayude a esta especie a esconderse de los depredadores, como es el caso de *P. cornutum*, que incluso llega a trepar entre los matorrales durante su periodo de inactividad para protegerse de algunos depredadores como las serpientes (Sherbrooke, 2003).

A pesar de que el índice de calidad térmica del hábitat tiene limitaciones cuando se contrasta con otras especies, ya que es un índice especie-específico, es decir, que está relacionado directamente con el intervalo de preferencias térmicas de cada especie y por otro lado, este índice depende de la heterogeneidad espacio-temporal de la temperatura ambiental (e.g., variación térmica diaria, estacional, anual, altitudinal, latitudinal, etc.) (Hertz *et al.*, 1993; Lara-Resendiz, 2013). De acuerdo con este enfoque, se determinó una baja calidad térmica para *P. taurus* y *P. asio* en las dos zonas. Sin embargo, cuando se comparó la calidad térmica de la temporada de secas y lluvias se encontró que en la época de secas hay una mayor d_e ; y justo en esta época es cuando las hembras de *P. taurus* se encuentran preñadas, mientras que las hembras de *P. asio* ovipositan en la época de lluvias, cuando la d_e y las temperaturas descienden (Beltrán-Sánchez *et al.* 2005; García-Pareja, 2011). Esta diferencia en la fenología en la reproducción de *P. taurus* es común en especies vivíparas, ya que en las zonas tropicales de alta montaña existen temperaturas bajas durante la época de lluvias que impiden que los huevos eclosionen, por lo que las lagartijas vivíparas tienen generalmente gestación invernal, periodo en el cual las temperaturas y la calidad térmica son mayores en ese tipo de lugares (Méndez-De la Cruz *et al.* 1998,). Debido a lo anterior, el modo reproductor de *P. taurus* le permite habitar lugares altos de los que puede habitar *P. asio* y tal vez esta es una de las causas del porqué no se encontraron individuos de *P. asio* en la zona 2, lugar ligeramente más alto que la zona 1, pero cuyas T_o son y d_e son menores significativamente durante la época de lluvias. Es conveniente hacer estudios con la

ecología de anidación de *P. asio* para determinar si realmente las temperaturas más bajas del verano en la zona 2 impiden que los huevos de los nidos de esta especie eclosionen.

Por lo tanto, la diferencia en la fenología de la reproducción, así como la discrepancia de las temperaturas y la calidad térmica por estaciones probablemente afecten la distribución y el número de individuos de las poblaciones de estas dos especies presentes en las dos zonas de estudio.

Riego de extinción

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los de trabajos previos, donde las lagartijas con T_p cercana a los 35°C tienen un riesgo de extinción más bajo que especie con requerimientos térmicos menores (Sinervo *et al.* 2010; Lara-Resendiz, 2013).

Sin embargo, *Phrynosoma asio* parece ser la especie más afectada, debido a que presentó un mayor riesgo de extinción en los lugares más bajos de su distribución, lo que podría provocar que emigrara a lugares más altos buscando temperaturas óptimas (Chen *et al.* 2011). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la distribución de esta lagartija podría estar limitada por muchos otros factores independientes de la temperatura, por lo que podría encontrarse con muchos problemas al intentar migrar a lugares más altos. Para el caso de *Phrynosoma taurus* presentó un menor riesgo de extinción, ya que los lugares donde tuvo un mayor riesgo fue en sitios donde ni siquiera está registrado, ya que la plantilla prediseñada en el programa R (R development core team, 2008) calcula un polígono de distancia mínima y el resultado en este caso fue un polígono que contenía áreas centrales donde *P. taurus* no está registrado.

Así mismo, *Phrynosoma taurus* al tener requerimientos térmicos similares a lagartijas ovíparas, no tendría gran problema en adaptarse a las nuevas condiciones ambientales, siempre y cuando sólo se tome en cuenta a la temperatura. Sin embargo, la distribución de *P. taurus* es muy pequeña y si al riesgo de extinción le sumamos la pérdida de hábitat y otros problemas generados por las actividades humanas y a que se desconozca la dinámica de sus poblaciones, esta especie podría tener un mayor riesgo. Además, existió una amplia zona con poco riesgo de extinción ubicada en el extremo suroeste de la distribución de esta especie con un polígono de distancia

mínima; siendo que esta zona corresponde a los límites entre Guerrero y Puebla. Sin embargo en ese sitio no existen registros de *P. taurus* y en su lugar recientemente se descubrió una nueva especie de *Phrynosoma* que es una especie hermana de *P. taurus* (Nieto-Montes de Oca, 2014). Además en aquella región, en particular en la localidad en donde se encontró la nueva especie de *Phrynosoma*, el hábitat es muy diferente al que ocupa *P. taurus*, ya que ese lugar es un pastizal inducido con manchones de bosque templado de encino (INEGI, 2009; Nieto-Montes De Oca, 2014). Debido a lo anterior, es muy probable que la región entre Guerrero y Puebla exista *P. sp* nova especie en lugar de *P. taurus*, por lo el área de distribución de esta última especie se encuentra aun más reducida. No obstante, a pesar de que *P. taurus* tuvo un bajo riesgo de extinción en el lugar en el que habita la otra lagartija, la nueva especie puede tener diferentes requerimientos térmicos que *P. taurus*, por lo tanto se requieren hacer nuevos estudios sobre la ecología térmica para determinar el riesgo de extinción de *P. sp* nova especie.

No obstante, el que *Phrynosoma taurus* tenga un riesgo de extinción menor a *P. asio* no coincide con las proyecciones de Sinervo *et al.* (2010), donde las lagartijas ovíparas tienen un mayor riesgo de extinción, por lo que probablemente las lagartijas vivíparas del género *Phrynosoma* son una excepción y por esto varias de estas especies tienen una distribución más norteña que otras lagartijas vivíparas (Méndez-De la Cruz *et al.* 1993; Hodges, 2004).

En conclusión, se puede decir que las áreas en donde se presenta mayor riesgo de extinción para las dos especies son los lugares donde exista un mayor incremento en la temperatura y una disminución en la precipitación.

Conclusiones

1. *Phrynosoma taurus* y *P. asio* son altamente eficientes en la regulación de su temperatura y las dos especies presentaron un mayor riesgo de extinción en las partes de su área de su distribución donde existe un mayor incremento en las temperaturas y una disminución en la precipitación.
2. Las dos especies presentaron un horario de actividad bimodal y el promedio de la temperatura corporal en campo y de la temperatura preferida en laboratorio de *P. taurus* fue $33.2 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ y $34.4 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$; y para *P. asio* fue de $33.4 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ y $35.9 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

3. No existió diferencia significativa entre los requerimientos térmicos de *P. taurus* y *P. asio* y la calidad térmica fue considerada baja en las dos zonas, sin embargo en época de secas la calidad térmica es más alta que en época de lluvias.

4. *Phrynosoma asio* tuvo un riesgo de extinción mayor al de *P. taurus*, por lo tanto, en este caso no se cumple la proyección de Sinervo *et al.* (2010) de que las lagartijas vivíparas tienen un mayor riesgo de extinción que las ovíparas.

Literatura citada

- Adolph S. C. y W. P. Porter. 1993. Temperature, activity and lizard life histories. *The American Naturalist* 142.2: 273-295
- Arias-Balderas, S. 2011. Termorregulación y comportamiento forrajero de *Phrynosoma orbiculare* en El Arenal, Nicolás Romer, Edo. de México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de México. México DF. 18 p.
- Avery, R. A. 1979. Lizards - a study in thermoregulation. University Park Press, Baltimore.
- Avery, R. A. 1982, Field studies of body temperatures and thermoregulation. In *Biology of the Reptilia*, C. Gans y F. H. Pough, eds. Academic press, New York p. 93-166.
- Bakken, G. S. 1992. Measurement and application of operative and standard operative temperatures in ecology. *American Zoologist* 32:194-216.
- Bartholomew, G.A. (1982): Physiological control of temperature. In: *Biology of the Reptilia*, p. 167-211. Gans, C., Pough, F.H., Eds., New York., Academic press.
- Bauwens, D., P. E. Hertz y A.M. Castilla. 1996; Thermoregulation in lacertid lizard: the relative contributions of distinct behavioral mechanism. *Ecology* 77(6): 1818-1830.
- Blázquez, M. 1995. Body temperatures, activity patterns and movements by gravid and non-gravid females of *Malpolon monspessulanus*. *Journal of Herpetology* 2: 264-266.
- Brattstrom, B. H. 1965. Body temperatures of reptiles. *American Midland Naturalist* 73:376-422.
- Canseco-Márquez, L. y Gutiérrez-Mayén, M.. 2010. Anfibios y reptiles del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Fundación para la Reserva de la Biosfera, Cuicatlán, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, D.F. y Puebla, Pue.
- Castro R. y Bustos M., 2006. Herpetofauna de las áreas naturales protegidas Corredor Biológico Chichinautzin y La Sierra de Huatla, Morelos, México. CONABIO, UAEM, México.
- Chen I. C., Hill J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B. y Thomas, C.D. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*. 333 (6045): 1024-1026
- Cowles, R. B. y C. M. Bogert. 1944. A preliminary study of the thermal requirements of desert reptiles. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 83:263-296.

- Díaz, J.A. (1997): Ecological correlates of the thermal quality of an ectotherm's habitat: A comparison between two temperate lizard populations. *Funct. Ecol.* 11: 79-89.
- Dzialowski, E. M. 2005. Use of operative temperature and standard operative temperature models in thermal biology. *Journal of Thermal Biology* 30:317-334.
- García-De la Peña, Gadsden, H., Contreras-Balderas, A. J. y Castañeda, G. 2007. Ciclos de vida diaria y estacional de un gremio de saurios en las dunas de arena de Viesca, Coahuila, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 141-147.
- García-Pareja, M. 2012. Biología reproductora de *Phrynosoma asio* (Phrynosomatidae) en el cerro Tepetlayo, Zumpango de Neri, municipio de Eduardo Neri. Tesis de Licenciatura, Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero. Guerrero, México.
- Gobierno del estado de Guerrero. 2012. Obtenida en mayo de 2012. <http://guerrero.gob.mx/municipios/centro/eduardo-neri/>
- Heath, J. 1962. Temperature independent morning emergence in lizards of the genus *Phrynosoma*. *Science* 138(3543):891-892
- Hertz, P. E., R. B. Huey y R. D. Stevenson. 1993. Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question. *American Naturalist* 142:796-818.
- Hitchcock, M. A. y L. D. McBrayer. 2006. Thermoregulation in nocturnal ectotherms: seasonal and intraspecific variation in the Mediterranean gecko (*Hemidactylus turcicus*). *Journal of Herpetology* 40:185-195.
- Hodges, W. L. 2004. Evolution of viviparity in horned lizards (*Phrynosoma*): testing the cold-climate hypothesis. *Journal of Evolutionary Biology* 17:1230-1237.
- Huey, R. B. 1982, Temperature, physiology, and ecology of reptiles. In *Biology of the Reptilia*, C. Gans y F. H. Pough, eds. Academic press, New York p. 25-91.
- Huey R. B. , C. A. Deutsch, J. J. Tewksbury, L. J. Vitt, P. E. Hertz, H. J. Álvarez-Pérez y T. Garland. 2009. Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proc. R. Soc. B.* doi: 10.1098/rspb.2008.1957.

- Huey, R. y Bennet, A. B. 1987. Phylogenetic studies of coadaptation: preferred temperatures versus optimal performance temperatures of lizards. *Evolution*. 41 (5): 1098-1115
- Huey, R. B. y M. Slatkin. 1976. Cost and benefits of lizard thermoregulation. *The Quarterly Review of Biology* 51:363-384.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Chilapa de Álvarez, Guerrero, Clave geoestadística 12028. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de las Cartas de Climas, Precipitación Total Anual y Temperatura Media Anual 1:1 000 000, serie I. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.
- INEGI. 2011. Perspectiva estadística Guerrero. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México
- Lara-Resendiz, R. 2008. Eficiencia de la termorregulación y modelación del nicho ecológico de dos especies hermanas de *Sceloporus* con diferente modo reproductor. Tesis, Universidad nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Lara-Resendiz, R. 2013. Ecología térmica de lacertilios mexicanos: implicaciones de su distribución y modo reproductor. Tesis, Universidad nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Lara-Resendiz, R., D. Arenas-Moreno, F. R. Méndez-de la Cruz. 2013. Termorregulación diurna y nocturna de la lagartija *Phyllodactylus bordai* (Gekkota: Phyllodactylidae) en una región semiárida del centro de México. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 127-135.
- Leaché, A. D. y J. A. McGuire. 2006. Phylogenetic relationships of horned lizards (*Phrynosoma*) based on nuclear and mitochondrial data: Evidence for a misleading mitochondrial gene tree. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 39:628-644.
- Lemos-Espinal, J. A., G. R. Smith y R. E. Ballinger. 1997. Observations on the body temperatures and natural history of some Mexican reptiles. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 33:159-164.
- Lemos-Espinal, J. A., G. R. Smith y R. E. Ballinger. 2004. Diets of four species of horned lizards (genus *Phrynosoma*) from Mexico. *Herpetological Review* 35 (2): 131-134

- Méndez-De la Cruz, F. Villagrán-Santa Cruz, M. Andrews, R. 1998, Evolution of vivipary in the lizard genus *Sceloporus*. *Herpetologica*, 54:521-532
- Montanucci, R.R. (1987): A phylogenetic study of the horned lizards genus *Phrynosoma* based on skeletal and external morphology. *Contributions in Science Los Angeles*: 1-36.
- Navarro-García, J. C., A. García y F. R. Méndez-de la Cruz. 2008. Seasonality, thermoregulation effectiveness of *Aspidoscelis lineatissima* (Sauria: Teiidae) and the thermal quality of a seasonally dry tropical forest in Chamela, Jalisco, Mexico. *Revista Mexicana De Biodiversidad* 79:413-419.
- Nieto-Montes de Oca, A., D. Arenas-Moreno, E. Beltrán-Sánchez y A. D. Leaché. 2014. A new species of horned lizard (genus *Phrynosoma*) from Guerrero, México, with an updated multilocus phylogeny. *Herpetologica*, 70(2):241-257.
- Pianka, E. R. y L. J. Vitt. 2003. *Lizards: windows to the evolution of diversity*. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, London.
- Pianka, E. R. y W. S. Parker. 1975. Ecology of horned lizards: review with special reference to *Phrynosoma platyrhinos*. *Copeia*:141-162.
- Pereira, H., Leadley, P., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J., Fernandez-Manjarrés, J., Araújo, B., Balvanera, P., Biggs, R., Cheung, W., Chini, L., Cooper, H., Gilman, H., Guénette, S., Hurtt, G., Huntington, H., Mace, G., Oberdorff, T., Revenga, C., Rodrigues, P., Scholes, R., Sumaila, U., Walpole, M.,. 2010. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science*, 330:1496–1501
- Prieto, A. A., Jr. y W. G. Whitford. 1971. Physiological responses to temperature in horned lizards, *Phrynosoma cornutum* and *Phrynosoma douglassii*. *Copeia*:498-504.
- Refinetti, R. y S. J. Susalka. 1997. Circadian rhythm of temperature selection in a nocturnal lizard. *Physiology & Behavior* 62:331-336
- Row, J. y Blouin-Demers, G. 2006. Thermal quality influences effectiveness of thermoregulation, habitat use, and behaviour in milk snakes. *Oecologia*. 148(1):1-11.
- Rzedowski, J. 1981. *Vegetación de México*. Limusa, México, D. F. 342 p.

- Sherbrooke, W. C. 2003. Introduction to Horned Lizards of North America. University of California Press, Berkeley. 178 p.
- Shine R. 1980. "Cost" of reproduction in reptile. *Oecologia*. 46: 92-100
- Shine, R., y R. Kearney. 2001. Field studies of reptile thermoregulation: how well do physical models predict operative temperatures? *Functional Ecology*. 15:2
- Sinervo, B. 1990. Evolution of thermal physiology and growth rate between populations of the western fence lizard (*Sceloporus occidentalis*). *Oecologia* 83:228-237
- Sinervo, B., F. Méndez-de la Cruz, D. B. Miles, B. Heulin, E. Bastiaans, M. Villagrán-Santa Cruz, R. Lara-Resendiz, N. Martínez-Méndez, M. L. Calderón-Espinosa, R. N. Meza-Lázaro, H. Gadsden, L. J. Avila, M. Morando, I. J. De la Riva, P. V. Sepulveda, C. F. D. Rocha, N. Ibarguengoytía, C. A. Puntriano, M. Massot, V. Lepetz, T. A. Oksanen, D. G. Chapple, A. M. Bauer, W. R. Branch, J. Clobert y J. W. Sites. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* 328:894-899.
- Urzúa-Vázquez, E. 2006. Contribución a la Historia Natural de *Phrynosoma orbiculare alticola*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 20 a 35 p.
- Vickers, M., C. Manicom y L. Schwarzkopf. 2011. Extending the cost-benefit model of thermoregulation: high-temperature environments. *The American Naturalist* 177:452-461.
- Weatherbase, 2012. Obtenida en diciembre de 2012. <http://www.weatherbase.com/>
- Weatherheada, P., Sperrya, J., Carfagnoa, G., Blouin-Demersb, G. 2012. Latitudinal variation in thermal ecology of North American ratsnakes and its implications for the effect of climate warming on snakes. *Journal of Thermal Biology*. 37(4): 273–281
- Wiens, J. J. y C.H. Graham. 2005. Niche conservatism: Integrating evolution, ecology, and conservation. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36:519-539
- Woolrich-Piña, G., Oliver-López, L. y Lemos-Espinal, J. 2005. Anfibios y reptiles del Valle de Zapotitlán, Salinas, Puebla. UNAM, COABIO. México.
- Woolrich-Piña, G. A., G. R. Smith y J. A. Lemos-Espinal. 2012. Body temperatures of three species of *Phrynosoma* from Puebla, Mexico. *Herpetology Notes* 5:361-364.

Zamudio, K. R. 1998. The evolution of female-biased sexual size dimorphism: A population-level comparative study in horned lizards (*Phrynosoma*). *Evolution* 52:1821-1833.

Zamudio K. R. y Parra-Olea,G. 2000. Reproductive mode and female reproductive cycles of two endemic mexican horned lizards (*Phrynosoma taurus* and *Phrynosoma braconnieri*). *Copeia*, 2000(1), pp. 222–229.