

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

EFICIENCIA EN LA TERMORREGULACIÓN DE *PHRYNOSOMA SOLARE*
(SQUAMATA: PHRYNOSOMATIDAE) EN HERMOSILLO, SONORA



PRESENTA:

JAVIER EDGAR VERDUGO MOLINA

Hermosillo, Sonora

Junio de 2014

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

FORMATO DE APROBACIÓN

Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la Tesis de Javier Edgar Verdugo Molina, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito para obtener el Título de Licenciado en Biología con Opción en Recursos Naturales Terrestres

Dr. Andrés García Aguayo

Director de Tesis

Dr. Reyna Amanda Castillo Gámez

Sinodal secretario

Dr. Alejandro Varela Romero

Sinodal

Dr. Luis Fernando Enríquez Ocaña

Suplente

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Francisco Javier Verdugo y María Monserrat Molina porque gracias a ellos he llegado a ser quien soy el día de hoy, además de que me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, no solo en este proyecto que es mi tesis sino también en muchos otros proyectos que se me han presentado a lo largo de mi carrera. Han sido muy importantes en mi desarrollo profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi *alma mater*, la Universidad de Sonora, porque es aquí junto con mis profesores donde me he formado como biólogo; también porque me apoyó para mis estancias de investigación dentro de los “Veranos de la Ciencia” y en mi participación dentro del congreso “Asociación para la Investigación y Conservación de Anfibios y Reptiles” donde expuse por primera vez los avances de esta tesis.

Deseo agradecerle especialmente a mis padres por su apoyo y financiamiento para la realización del presente estudio y a mi director de tesis el Dr. Andrés García Aguayo, porque considero que gracias a él pude escoger este tema para realizar mi trabajo de tesis, junto al Doctor Rafael Lara Reséndiz; ambos me ayudaron con el conocimiento teórico, el apoyo de equipo y me guiaron a través de este estudio.

A mis sinodales, les doy las gracias por apoyarme con mi tema de tesis, en especial a la Dra. Reyna Castillo por permitirme hacer uso de su laboratorio para llevar cabo las prácticas concernientes a este estudio.

Quiero añadir un agradecimiento muy especial a mis amigos biólogos y a mis amigos no biólogos por todo su apoyo, por su ayuda en mis muestreos, en especial a quienes hice madrugar demasiado. Sobre todo, muchas gracias por su amistad y por su apoyo moral que realmente necesité para terminar este trabajo.

Por último, un agradecimiento a todos los *Phrynos* que participaron en este estudio. Gracias a ellos se pudo realizar esta tesis, y orgullosamente puedo alardear que ninguno murió en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE APÉNDICES	viii
RESUMEN	ix
I INTRODUCCIÓN	1
II ANTECEDENTES	4
II.1 Termorregulación en Lagartijas	4
II.2 Termorregulación en el Género <i>Phrynosoma</i>	11
III JUSTIFICACIÓN	15
IV HIPÓTESIS	16
V OBJETIVOS	17
V.1 Objetivo General	17
V.2 Objetivos Específicos	17
VI METODOLOGÍA	18
VI.1. Especie Objeto de Estudio	18
VI.2. Área de Estudio	20
VI.3. Termorregulación	23
VI.3.1. Relación entre la Temperatura Corporal (T_c) y la Temperaturas Ambientales (T_s y T_a)	24
VI.3.2. Temperatura del Modelo de Cobre (T_0)	25
VI.3.3. Temperaturas Seleccionadas (T_{sel})	26
VI.3.4. Determinación de la Eficiencia en la Termorregulación (E)	27
VI.4. Relación de la Eficiencia en la Termorregulación con su Tamaño, su Peso y su Coeficiente de Condición	28
VI.5. Comparación de la Eficiencia en la Termorregulación entre los Sexos de <i>P. solare</i>	28
VII RESULTADOS	29
VII.1. Temperaturas Modelo de Cobre (T_0)	30

VII.2. Temperatura Seleccionada (T_{sel})	30
VII.3. Determinación de la Eficiencia en la Termorregulación	31
VII.4 Relación entre la Temperatura Corporal (T_c) y la Temperatura del Ambiente (T_a y T_s)	31
VII.5 Relación de la Eficiencia en la Termorregulación entre las Tamaño, Peso y Coeficiente de Condición	33
VII.6.Comparacion de la Eficiencia en la Termorregulación entre los sexos de <i>P. solare</i>	33
VIII DISCUSIÓN	35
IX CONCLUSIONES	39
X LITERATURA CITADA	40
XI APÉNDICES	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I	Valores promedio y Desviación Estándar de las variables registradas para el estudio de eficiencia en la termorregulación en <i>Phrynosoma solare</i>	29
Tabla II	Análisis de Varianza entre los dos sitios muestreados	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Individuo adulto de <i>Phrynosoma solare</i> colectado en Hermosillo Sonora. Una característica fundamental de la especie es la presencia de cuatro cuernos craneales planos en la parte posterior de la cabeza. Cada cuadro mide 0.5 x 0.5 cm. Fotografía tomada por Javier Verdugo.	18
Figura 2	Mapa de la distribución de <i>Phrynosoma solare</i> Tomado de Jones y Lovich (2009).	19
Figura 3	Área de estudio con localidades de muestreo de <i>Phrynosoma solare</i> en Hermosillo, Sonora.	21
Figura 4	Sitio de muestreo 1, ubicado a 15 km al suroeste de la ciudad de Hermosillo, en la zona de terrenos campestres “Real del 14”.	22
Figura 5	Sitio de muestreo 2, ubicado en un terreno baldío al norte de la ciudad de Hermosillo Sonora. La calle más grande en la parte inferior de la fotografía es el Boulevard “Progreso” la calle “Dr. Domingo Olivares” se encuentra a la derecha del polígono.	23
Figura 6	Modelo de cobre empleado para medir la T_{θ} . El modelo mide 10 cm de largo, 4.5 cm en la parte más ancha, y 2.5 cm de la parte más gruesa.	25
Figura 7	Caja experimental (15 x 60 x 20 cm), donde se creó un gradiente de temperatura de 20 °C (extremo derecho) a 50 °C (extremo izquierdo)	27
Figura 8	Regresión entre la temperatura del modelo de cobre y la temperatura corporal de <i>P. solare</i> adulto.	30
Figura 9	Variación individual de Temperatura Corporal (T_c) temperatura del suelo (T_s) y temperatura del aire (T_a) con la temperatura seleccionada (T_{set}).	32
Figura 10	Análisis de regresión (r^2) entre la eficiencia en la termorregulación (E) y (a) el tamaño (LHC), (b) peso y (c) coeficiente de condición en <i>Phrynosoma solare</i> .	34

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice 1	Modelo sobre regulación de temperatura en la lagartija cornuda (<i>Phrynosoma sp</i>). Las flechas continuas significan la ganancia de calor y las flechas punteadas la pérdida de calor	44
Apéndice 2	Información registrada en los muestreos de <i>Phrynosoma solare</i> para este estudio, biometrías y temperaturas.	45
Apéndice 3	Información generada para la calibración del modelo de cobre utilizado en este estudio.	46
Apéndice 4	Registros de la medición de las temperaturas (°C) en los modelos de cobre para cada sitio de muestreo	47
Apéndice 5	Datos de las mediciones de las temperaturas registradas en la caja con gradiente de temperatura para calcular el intervalo de temperatura T_{sel}	48
Apéndice 6	Datos de la diferencia entre T_c con respecto al intervalo de T_{sel} para calcula db	49
Apéndice 7	Datos de la diferencia entre T_0 con respecto al intervalo de T_{sel} para calcular de	50
Apéndice 8	Información para comparar la eficiencia con el peso, LHC y el coeficiente de condición.	52

RESUMEN

En este estudio se determinó la eficiencia en la termorregulación (E) de la lagartija cornuda *Phrynosoma solare* en Hermosillo, Sonora. Entre la primavera y el verano del 2011, durante la época de mayor actividad de *P. solare*, se capturaron 38 ejemplares a los cuales se les tomó biometrías en campo (longitud hocico-cloaca y peso), su temperatura corporal (T_c) en condiciones experimentales de laboratorio para establecer el intervalo óptimo de la T_c y con ello, calcular E , así como la temperatura ambiental durante el día para determinar la calidad térmica del hábitat de este reptil. La termorregulación es una capacidad muy importante en la biología y ecología de los reptiles, por su condición de ectotermos. Estos han desarrollado diversas estrategias para llevarla a cabo, permitiendo a este grupo de animales, habitar lugares extremos como los desiertos cálidos. Se distinguen dos tendencias en el comportamiento de los reptiles durante la termorregulación, las cuales se establecen según la E que presenta cada especie; los termorreguladores activos que son los que invierten tiempo y esfuerzo a su termorregulación y tiene una E cercana a 1, y los termoconformistas que no invierten de manera considerable, parte de su tiempo y actividad de termorregulación, dejando que el ambiente determine su T_c con valores de E cercanos a cero. Se determinó que *P. solare* es un termorregulador activo, con una $E = 0.89$. Esta especie tiene una T_c promedio de $36.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($DE \pm 2.07\text{ }^{\circ}\text{C}$). Se determinó que las condiciones térmicas del ambiente son extremas, ya que la temperatura ambiental se aleja casi 10°C de la temperatura ideal para esa lagartija, pero no es una limitante para la actividad de *P. solare* ya que logra compensar la baja calidad térmica de su hábitat, para obtener la T_c necesita. El tamaño (longitud hocico-cloaca), el peso y la robustez (peso/longitud hocico-cloaca) no mostraron una influencia estadísticamente significativa con respecto a la E individual, lo que lleva a suponer que los individuos de la especie *P. solare*, tiene la misma E sin importar su tamaño, peso o robustez.

I. INTRODUCCIÓN

La termorregulación es la capacidad de los organismos de mantener su temperatura corporal (T_c) en un intervalo óptimo (Cowles y Bogert, 1944; Brattstrom, 1965; Daza et al., 2008). Este proceso es vital para los seres vivos, ya que los procesos bioquímicos que ocurren en el metabolismo requieren de intervalos óptimos de temperaturas para realizarse adecuadamente y mantener la homeostasis (Prieto y Whitford, 1971; Pough, 1980; Stevenson, 1985; Blouin-Demers y Nadeau, 2005; Tattersall et al., 2006; Daza et al., 2008). La termorregulación es importante en la mayoría de aspectos de ecología, biología y comportamiento de los reptiles, debido a su condición de ectotermos, en el que su metabolismo no produce suficiente calor por medio de vías catabólicas (rompimiento de moléculas complejas para obtener moléculas simples y energía), por lo que necesitan elevar su T_c a partir de fuentes externas, principalmente a través de la radiación solar (Huey y Slatkin, 1976; Pough, 1980; Huey, 1982; Stevenson, 1985; Blouin-Demers y Nadeau, 2005; Hare, et al., 2010).

La obtención de calor debe ser un proceso eficiente ya que de lo contrario puede ocurrir un sobrecalentamiento corporal; esto ocurre cuando se obtiene más calor o energía de la que se puede aprovechar, provoca que el metabolismo se acelere y se incremente el gasto energético por arriba de lo aportado a través del alimento. Lo anterior tiene como consecuencia el agotamiento y deshidratación del organismo que, en ocasiones, muere (Heath, 1962; Prieto y Whitford, 1971; Blouin-Demers y Nadeau, 2005; Daza, et al., 2008). Lo contrario también puede ocurrir, que el organismo se enfríe o pierda demasiado calor y debido a eso no puede obtener la suficiente energía por rutas metabólicas y muera (Prieto y Whitford, 1971; Blouin-Demers y Nadeau, 2005; Daza, et al., 2008; Hare, et al., 2010).

Muchos reptiles mantienen efectivamente su T_c por medio del comportamiento, que permite compensar los cambios en la temperatura ambiental (T_a y T_s), en especial en ambientes extremos como los desiertos (Heath, 1962; Heath, 1964; Huey y Slatkin, 1976; Huey, 1982; Stevenson, 1985; Hertz et al., 1993; Blouin-Demers y Nadeau, 2005; Tattersall et al., 2006). El comportamiento termorregulador en reptiles presenta varias estrategias que incluyen la hibernación, la estivación y la variación estacional de la T_c (Stevenson, 1985; Christian, 1998; Daza, et al., 2008; Hare, et al., 2010). La selección de microhábitat, tipo de

sustrato y uso de diversos refugios también son estrategias importantes durante la termorregulación (Hertz et al., 1993; Hodges, 2004; Daza et al., 2008). La heliotermia es otra estrategia que consiste en exponerse directamente a la radiación solar, escogiendo la orientación con respecto al Sol, la postura, movimientos del cuerpo y la duración e intensidad durante el periodo de actividad (Apéndice1). Este comportamiento les permite aprovechar y manipular el flujo térmico para poder realizar todos sus procesos biológicos como la alimentación, crecimiento, supervivencia y la reproducción, en especial para obtener la temperatura óptima para el desarrollo adecuado de los embriones dentro del huevo o dentro de las hembras (Brattstrom, 1965; Muth, 1977; Christian, 1998).

El comportamiento de termorregulación es de suma importancia en reptiles (Blouin-Demers y Nadeau, 2005; Tattersall et al., 2006) pero la gama de conductas dependerá de la especie, su nicho, microhábitat, hábitat y la calidad térmica del ambiente (Blouin-Demers y Nadeau, 2005; Scott, 2005). De acuerdo con Hertz et al. (1993), la eficiencia en la termorregulación (E) es la relación de la precisión (db) que tiene un reptil para controlar su T_c , con respecto a la calidad térmica de su hábitat (de) y se determina con la fórmula $E= 1-(db/de)$. Con base a esto, se han determinado dos tendencias en la termorregulación, los termorreguladores activos (E cercana a 1), quienes invierten gran parte de su tiempo y actividad en regular su T_c y por otro lado están los termoconformistas (E cercana a 0) que dedican poco tiempo y actividad a la termorregulación, y su T_c es similar a la del ambiente (Hertz et al., 1993; Blouin-Demers y Nadeau, 2005).

Las variables morfométricas que han demostrado estar relacionadas con la termorregulación en reptiles son, principalmente, la longitud hocico-cloaca (LHC) y el peso ya que estas variables afectan de forma física la absorción y retención de la temperatura corporal (Muth 1977; Karraker y Welsh, 2006; Seebacher y Shine 2006; Woolrich-Piña et al., 2012). Otra variable de interés es el coeficiente de condición corporal que resulta del cociente entre del peso y la LHC del organismo, este coeficiente da información de la robustez del individuo y puede interpretarse como un reflejo de las diferencias entre individuos de la misma población (Karraker y Welsh, 2006). Otras variables a considerar en un estudio sobre termorregulación en reptiles son las fechas o estaciones del año, las horas de actividad, y la temperatura y humedad relativa ambiental (Heath, 1962; Hertz et al., 1993; Keith y Bedford, 1995; Karraker y Welsh, 2006; Navarro-García et al., 2008).

Debido a que la termorregulación es de suma importancia para los organismos ectotérmicos, en este trabajo se determinó la estrategia termorreguladora utilizada por *P. solare* y se estimó su eficiencia termorreguladora en el Desierto Sonorense.

La lagartija cornuda (*Phrynosoma solare*) se distribuye en gran parte del estado de Sonora y del estado de Arizona y es una de las especies del género con mayor distribución en el Desierto Sonorense (Hodges, 2004; Scott, 2005; Jones y Lovich, 2009). Esta especie, tiene una dieta especializada en hormigas (Heath, 1962). Al igual que en otras especies de reptiles, los mecanismos conductuales de termorregulación en esta lagartija cornuda son de suma importancia para entender la ecología de esta especie (Cowles y Bogert, 1944; Heath, 1962; Heath, 1964; Daza et al., 2008).

P. solare es una especie no considerada en riesgo de extinción debido a su amplia distribución (Whiting et al., 1993; Brennan y Holycross 2006; Jones y Lovich, 2009; Eifler et al., 2012). Si bien se distribuye ampliamente a través del Desierto Sonorense no es una especie muy abundante en las localidades donde habita, debido principalmente a su especialización para alimentarse de hormigas y la dinámica depredador-presa en la que es muy importante conservar un equilibrio (Whiting et al., 1993, Scott, 2005; Eifler et al., 2012).

II. ANTECEDENTES

II.1. Termorregulación en Lagartijas

Cowles y Bogert (1944) desarrollaron el primer estudio sobre los requerimientos térmicos en reptiles del desierto; en él discuten la importancia de la coloración, el uso de refugios y la temperatura de sustratos para el control de su temperatura corporal (T_c), dentro de un intervalo óptimo, evitando llegar a una temperatura letal. Así mismo describen la importancia que tiene en la biología de los reptiles el controlar la T_c , la que es fundamental para la digestión, mantenerse en su actividad, evitar ser depredados y la reproducción, que es una acción que requiere gran esfuerzo ya que implica la búsqueda de pareja, el cortejo y la puesta y cuidado de los huevos.

Huey y Slatkin (1976) realizaron un análisis de la relación costo-beneficio de la termorregulación con mayor eficiencia, señalando que el comportamiento termorregulador de los reptiles es muy complejo e intervienen diferentes factores. Las lagartijas ahorran energía activando su cuerpo en niveles óptimos según las características del hábitat, por lo tanto la temperatura óptima según la fisiología del reptil, no tiene que ser la misma que la temperatura óptima vista desde un punto ecológico. Los reptiles pueden tener un intervalo amplio o limitado de su temperatura óptima, lo que puede aumentar o disminuir los costos de la termorregulación según las características del hábitat. Las especies que tienen un intervalo reducido de su temperatura óptima suelen vivir en hábitats que les genere un bajo costo en su termorregulación. Además del hábitat, hay otros factores que afectan la termorregulación de los reptiles, como la competencia por el alimento o el nicho entre dos especies similares de reptiles. Estas competencias alteran la eficiencia de la termorregulación ya que pueden disminuir los periodos de actividad y aumentar la demanda energética para realizar su actividad diaria. La depredación también afecta la eficiencia en la termorregulación; dependiendo si el hábitat implica un bajo riesgo de depredación el reptil aumenta su eficiencia, pero si el hábitat implica un alto riesgo de depredación, la eficiencia en la termorregulación

puede ser baja. Como conclusión se tiene que un lagarto solo invierte en la termorregulación cuando los beneficios superan a los costos.

Muth (1977) estudió la importancia de la conducción térmica del sustrato, la convección, la postura y la orientación del cuerpo con respecto al sol en la termorregulación de la lagartija *Callisaurus draconoides* (Phrynosomatidae), utilizando para ello cuatro modelos de computadora tomando como parámetros la silueta del lagarto, ángulo del sol, el área de contacto con el sustrato y el coeficiente de transferencia térmica por convección. De esta manera, Muth (1977) encontró que la variación en la orientación al sol puede provocar cambios de hasta 1°C con respecto a la temperatura corporal. La ganancia de calor por conducción en las mañanas es de poca importancia, pero puede aumentar la ganancia de calor en determinadas condiciones. Se concluye que *C. draconoides*, por su pequeño tamaño, la postura y la convección son más importantes en su termorregulación que su orientación con respecto al sol. En contraste, lagartijas más grandes como las chuckwallas (Iguanidae: *Sauromalus varius*) y las iguanas marinas (Iguanidae: *Amblyrhynchus cristatus*) tendrán una termorregulación más asociada con su postura con respecto al sol, y la convección no será importante para su comportamiento al termorregular.

Hertz et al. (1993) describieron un protocolo para evaluar la regulación de la temperatura en ectotermos pequeños, especialmente en reptiles. Este protocolo además de tomar la temperatura corporal (T_c) del animal de estudio y las temperaturas de su ambiente, considera un intervalo de temperaturas óptimas para el organismo, la cual se obtiene tomando lecturas de temperaturas corporales en un gradiente de temperatura experimental (temperatura seleccionada T_{sel}).

Para crear el gradiente de temperatura se utiliza una caja de 1.5 metros de largo en la cual se ofrecen las temperaturas presentes en el ambiente del organismo el cual podrá moverse libremente de extremo a extremo en el gradiente, seleccionando sin limitantes, la temperatura que desee.

Acomodando de menor a mayor las lecturas de las T_c obtenidas en el gradiente de temperatura experimental y por medio de intercuartiles se selecciona el intervalo de temperaturas óptimo para este organismo a partir de la temperatura seleccionada (T_{sel}), que se utiliza para determinar el índice de la precisión del organismo en obtener la temperatura deseada (db) y el índice de la calidad térmica del entorno para el organismo (de).

Para determinar la calidad térmica del ambiente (*de*), se toma la temperatura de un modelo que simula al organismo termorregulando sin comportamiento; esto se logra construyendo un modelo de cobre con la forma y tamaño del animal de estudio. El modelo se coloca en el medio ambiente donde el organismo suele estar. Se deja un día para que se aclimate y después se le toman lecturas de la temperatura durante cada hora, estas temperaturas del modelo de cobre (T_0) forman el grupo control, ya que el modelo de cobre absorberá toda la temperatura del medio y también devolverá toda la temperatura que absorbió, por lo que se considera que la termorregulación es inexistente. La diferencia entre las lecturas de T_0 con el intervalo de T_{sel} , si la T_0 está dentro del intervalo que es T_{sel} se considera que la diferencia es 0. A los valores absolutos de las diferencias que se calculen entre las lecturas de T_0 , con T_{sel} , se les toma la media y este será el índice de la calidad térmica del medio (*de*), según la percepción del organismo. Mientras *de* sea más cercano a 0, mayor es la calidad térmica del medio ambiente.

La T_c registrada de cada individuo capturado se utiliza para determinar la precisión del organismo en obtener la T_c que desee. La diferencia entre las lecturas de T_c con el intervalo de T_{sel} , determina *db*, si la T_c está dentro del intervalo que es T_{sel} se considera que la diferencia es 0. A los valores absolutos de las diferencias que se calculan entre las lecturas de T_c , con T_{sel} , se les toma la media y este es el índice de la precisión térmica del organismo (*db*). Mientras *db* sea más cercano a cero, mayor es la precisión térmica del organismo.

Utilizando los dos índices se calcula la Eficiencia de la termorregulación (*E*) utilizando la fórmula:

$$E = 1 - (db/de)$$

Donde una *E* cercana a cero implica una eficiencia baja y una *E* cercana a uno implica una eficiencia alta.

Hertz et al. (1993) aplicaron el método anteriormente descrito para hacer un análisis de la biología térmica de tres especies de la lagartija del género *Anolis* (*A. cooki*, *A. cristatellus* y *A. gundlachi*) durante el invierno y el verano, a diferentes alturas en Puerto Rico. Se encontró coincidencia en las 3 especies de *Anolis* en las diferentes alturas, que en todos los casos la *E* en invierno era más alta que en verano, lo que sugiere que estas lagartijas al percibir un factor posiblemente limitante, aumentan su comportamiento termorregulador. Con lo anterior

mostraron la utilidad del protocolo y su efectividad con respecto a los métodos anteriores de evaluación de regulación de la temperatura.

Keith y Bedford (1995) realizaron una comparación de la termorregulación de la lagartija *Varanus scalaris* (Varanidae) durante las estaciones de secas y de lluvias, para lo cual utilizaron el protocolo de Hertz et al. (1993) utilizando las temperaturas de los modelos de cobre (T_{θ}) para esta especie en ambas estaciones. En campo se encontró que las T_c y el intervalo de temperaturas óptimo (T_{sel}) fueron 3°C más altas en estación de lluvias que en la estación de secas. Durante la estación de secas *V. scalaris* utilizaba sus refugios (hoyos en los árboles), que les permitían mantener una T_c dentro del intervalo óptimo (T_{sel}) durante gran parte del día. Lo anterior indica un cambio en el comportamiento termorregulador, asociado al cambio de estaciones, al cual responde explotando refugios que además de mantener su T_c también los protege de depredadores.

Shine y Kearney (2001) realizaron una investigación para evaluar las características más importantes al obtener los modelos de cobre (T_{θ}) que se usan como grupo control en la determinación de la termorregulación de reptiles estas características son: la forma, el tamaño, la orientación con respecto a la luz solar y la coloración. Estos autores también evaluaron cómo afecta cada característica al modelo en su termorregulación, y determinaron que en modelos pequeños la coloración y orientación del modelo con respecto a la luz solar tiene una influencia mínima y el aspecto más determinante es el tamaño y el área de contacto con el sustrato, lo cual es determinado por la forma. Finalmente concluyen que un modelo del organismo hecho de cobre simula la temperatura de un ectotermo y permite evaluar la termorregulación de un reptil pequeño. Los factores más importantes son el tamaño y la forma; estos deben ser congruentes debido a que son las características que más influyen en el atributo térmico del modelo.

Gvoždik (2002) realizó una comparación entre cuatro poblaciones de la lagartija *Zootoca vivípara* (Lacertidae) distribuidas en un gradiente altitudinal entre 250-1,450msnm. Gvoždik evaluó el tiempo que dedican a termorregular, asociándolo con algunas variaciones fisiológicas (velocidad de calentamiento corporal) y rasgos de comportamiento (selección de microhábitat, frecuencia con la que se asolean, el alcance de la termorregulación). Para estimar el tiempo potencial que el reptil dedica a termorregular, utilizando además del protocolo de Hertz et al. (1993), se calculó la tasa de calentamiento y enfriamiento.

Los costos de tiempos de termorregulación para cada población se calcularon con base en el tiempo que pasaron las lagartijas tomando el sol en relación con el tiempo dedicado a forrajear. Las poblaciones a 250, 550, y 800msnm, no tuvieron diferencias significativas en el tiempo que dedican a la termorregulación. Sin embargo, se determinó que las lagartijas a 1450msnm tenían que termorregular 50% más tiempo que las que estaban a 250m; el único mecanismo para compensar el tiempo de la termorregulación en la población de mayor altitud, fue la elección de sitios para termorregular. En este estudio se concluyó que a mayor altitud, *Z. vivípara* tiende a aumentar su tiempo para termorregular, a expensas del tiempo que podría dedicarlo a otras actividades, como forrajear o actividades sociales.

Dzialowski (2005) realizó una revisión sobre los modelos que se usan como grupo control, donde el modelo que más se usa es de cobre porque es un material que se asemeja a los organismos vivos en la absorción térmica; sin embargo, resalta que estos modelos pueden tener errores que alterarían el estudio de la termorregulación, por lo que es importante calibrar el modelo de cobre con el reptil, antes de usarlo para que tenga una validación científica. En este trabajo Dzialowski, establece un método para calibrar el modelo tomando en cuenta la temperatura del modelo y del reptil simultáneamente bajo las mismas condiciones y en el mismo lapso de tiempo.

Blouin-Demers y Nadeau (2005) retoman el estudio sobre costo-beneficio en la termorregulación en reptiles del trabajo ya antes mencionado de Huey y Slatkin (1976) y hacen un estudio similar pero también evaluando el intervalo óptimo de temperaturas para el organismo (T_{sel}), el índice de la calidad térmica del hábitat (de) y el índice de la precisión térmica del organismo (db) y la eficiencia en la termorregulación (E), como se indica en el protocolo desarrollado por Hertz et al. (1993). Estos investigadores determinaron que un termorregulador activo, que invierte tiempo y esfuerzo en termorregular eficientemente, tiene más beneficios al vivir en un hábitat con baja calidad térmica, que un termoconformista que invierte poco tiempo y esfuerzo en termorregular eficientemente y vive en un hábitat con una favorable calidad térmica.

Seebacher y Shine (2006) comprobaron que la masa corporal y la actividad de locomoción son factores que deben considerarse en el protocolo de Hertz et al. (1993) para ectotermos grandes, además de hacer notar que los animales grandes tiene una fluctuación grande en su temperatura corporal comparada con la fluctuación del modelo de cobre, estos

autores desarrollaron un método para medir eficiencia de la termorregulación en animales grandes y lo aplicaron con el lagarto *Varanus varius* (Varanidae) el cual puede llegar a los 5 kilos. Con el método de Hertz se obtuvo una eficiencia térmica de 0.97 la cual indica que es un termorregulador activo pero con el protocolo desarrollado por Seebacher y Shine, se obtuvo una eficiencia térmica de 0.28 lo cual indica que el *V. varius* es un termoconformista.

Tattersall et al. (2006) realizaron una revisión sobre la relación que hay entre la respiración de los reptiles y su termorregulación. Los reptiles, como otros vertebrados ectotermos, también tienen la capacidad de percibir cambios de temperatura en el ambiente, con la diferencia de que su respuesta es conductual y no fisiológica.

En los reptiles existe una diferencia entre la temperatura de la cabeza y el cuerpo, en este trabajo se sugiere que la temperatura de la cabeza es la variable que se regula y no la del resto de cuerpo como se pensaba. Estos autores sugieren que en algunos reptiles el jadeo y la boca abierta funcionan como una respuesta a temperatura del ambiente, que se manifiesta antes de la exposición a una temperatura letal, a menudo este comportamiento se presenta de una manera gradual y regulada. Además se considera que un enfriamiento produce una respiración más lenta y profunda.

Los patrones respiratorios que son mayormente observados en reptiles de zonas áridas, constatan una conducta termorreguladora que permiten enfriar primordialmente el cerebro, ya que la temperatura de este órgano es la que activa el comportamiento termorregulador.

Navarro-García et al. (2008) compararon la eficiencia de la termorregulación de la lagartija *Aspidoscelis lineatissima* (Teiidae), entre la estación seca y la estación lluviosa en el bosque tropical caducifolio y el efecto de la estacionalidad en la calidad térmica del ambiente. Se encontró que la T_c de *A. lineatissima* varió estacionalmente (31.14 y 33.82 °C en las estaciones seca y lluviosa). Las temperaturas de los modelos de cobre (T_0) fueron muy similares en cada estación (29.30°C y 29.34°C), al igual que los índices de precisión en la termorregulación (db), de calidad térmica del ambiente (de) y la eficiencia en la termorregulación (E), que fue de 0.66 en estación seca y 0.51 en época de lluvias. La única diferencia significativa en las temperaturas del *A. lineatissima* fue en su temperatura seleccionada (T_{sel}) la cual varió en las dos estaciones (33.27 y 30.5 en estación de secas y lluviosa). Lo anterior indica que *A. lineatissima* responde a la variación estacional con un cambio en sus requerimientos térmicos. Se encontró que la T_c de *A. lineatissima* coincide con

las temperaturas corporales de este género encontrados en otros trabajos. Estas lagartijas, a pesar de la baja calidad térmica del hábitat, junto con los costos ecológicos de una termorregulación efectiva (como un alto riesgo de depredación, una marcada territorialidad y el tipo de forrajeo), tiene una E moderada y se considera a la especie como un termorregulador activo (Navarro-García, et al., 2008).

Hare, et al (2010) realizaron un estudio sobre la actividad de lagartijas nocturnas, diurnas y una especie crepuscular. Comparando el consumo de oxígeno, entre 13 y 26°C, con diferentes tipos de lagartijas: cuatro de hábito nocturno (*Oligosoma macgregori*, *Hoplodactylus chrysosireticus*, *H. maculatus* y *H. stephensi*), tres de hábito diurno (*Naultinus manukanus*, *Oligosoma polychroma*, y *O. zelandicum*) y una de hábito crepuscular (*O. aeneum*).

Como se esperaba las ocho especies tuvieron un consumo de oxígeno a los 26°C de dos a cuatro veces mayor que a 13°C; la especie de hábito crepuscular fue la que tuvo menor consumo de oxígeno. Estos datos no pueden generalizarse para las especies crepusculares porque el bajo consumo de oxígeno puede deberse a características de la especie, por lo tanto se deben realizar más estudios en especies crepusculares. En contraste, el consumo de oxígeno de las lagartijas nocturnas en 13°C fue significativamente mayor que de las diurnas.

Estos datos demuestran que las lagartijas nocturnas son menos sensibles a la temperatura y aumentan su consumo de oxígeno, lo que les permite tener tasas metabólicas altas a temperaturas bajas, pero con una locomoción limitada en comparación con las lagartijas diurnas a 26° C. Además se determinó para todas las especies estudiadas que la sensibilidad térmica está fuertemente ligada al tamaño, entre más pequeña sea una lagartija, más sensible es a la temperatura. Lo anterior sugiere que las lagartijas nocturnas deben tener un consumo elevado de oxígeno para poder compensar su sensibilidad a la baja temperatura y mantener la actividad con una baja temperatura corporal.

II.2. Termorregulación en el Género *Phrynosoma*

Heath (1962) realizó un estudio sobre la termorregulación en *P. coronatum* y *P. cornutum* las cuales tienen un comportamiento complejo y una preferencia de empezar su actividad antes del amanecer. Usando un experimento en el que dentro de una pecera una la luz se prende a la misma hora que amanece, se observó que los lagartos cornudos estaban activos antes de que prendieran la luz. También se calculó que el intervalo de actividad de T_c es de 34°C- 38°C para ambas especies.

Heath (1964) realizó un estudio en *P. coronatum* comparado las temperaturas de la cabeza contra el cuerpo enterrado este acto de enterrarse es una estrategia conductual para termorregular. El autor encontró que la temperatura de la cabeza puede variar de 3 a 5°C de la temperatura del cuerpo enterrado. Dependiendo de la temperatura del ambiente, esta variación de temperaturas se logra con la intervención de la arteria carótida, que propicia un intercambio de temperatura entre la cabeza y el cuerpo funcionando como un mecanismo fisiológico para la termorregulación.

Prieto y Whitford (1971) realizaron un trabajo donde determinaron la respuesta fisiológica de la temperatura en *Phrynosoma cornutum* y *P. douglassii* donde tomaron las temperaturas corporales de ambas lagartijas y determinaron que las temperaturas corporales seleccionadas fueron de 38.5 °C en *P. cornutum* y 35 °C en *P. douglassii*. Se determinó el máximo crítico térmico para ambas especies; en *P. cornutum* fue de 47.9 °C y en *P. douglassii* fue de 43.5 °C. Este estudio sugiere que ambas especies son muy similares en su eficiencia y gasto cardíaco. En contraste, se determinó que los pigmentos respiratorios en *P. douglassii* permiten que sea más eficiente el transporte de oxígeno a bajas temperaturas para *P. cornutum*.

Pianka y William (1975) realizaron un estudio sobre la ecología de *P. platyrhinos* en el cual incluye el tiempo de actividad, la dieta, la reproducción, diferencia del tamaño según el sexo, dimorfismo sexual, el comportamiento en su alimentación, la competencia, junto con la pérdida de cola y las relaciones de la temperatura. En este estudio se encontraron otras 5 especies de lagartijas cornudas pero se centró en *P. platyrhinos* la cual fue la especie más abundante. Se determinó que la T_b promedio de *P. platyrhinos* es de 34.5°C, *P. modestum* 36.5°C, *P. m'calli* 37.8°C, *P. douglassii*, 34.9, *P. coronatum* 36.7°C y *P. cornutum* 37.3°C, *P.*

solare 34.7°C. En la relación de la temperatura, encontraron que *P. platyrhinos* tiene una débil correlación positiva entre la T_b y la temperatura del aire (T_a).

Guyer y Linder (1985) realizaron un estudio sobre la ecología térmica y actividad de *Phrynosoma douglassi* y de *Sceloporus graciosus* en el suroeste de Idaho. En ambas especies el promedio de la T_b es de 33°C aunque en *P. douglassi* hay más variación en los periodos de la mañana y en la tarde. Ambas especies tiene su periodo de actividad desde abril a agosto con su mayor actividad en junio. Se determinó que los individuos juveniles y adultos de *P. douglassi* tenían el mismo patrón de actividad, y los patrones de actividad este lagarto cornudo se asemejan a los patrones de actividad en los hormigueros de *Pogonomyrmex sp* que es su principal alimento.

Christian (1998) realizó un trabajo sobre la evaluación de la termorregulación de *P. douglassi* en “Guadalupe Mountains en Texas” que es un hábitat montañoso con una altitud de 2290 msnm. El estudio fue realizado de las 9 am a las 6 pm durante los meses de mayo a septiembre. Las lagartijas fueron encontradas en todos los principales hábitats a gran altitud en las montañas del parque nacional de Guadalupe, que van desde áreas verdes abiertas a grupos densos de abetos de Douglas. Sin embargo se encontraron con mayor frecuencia en los parches entre la vegetación dentro de estos hábitat donde la luz el sol pegara directamente.

Algunos lagartos tiene limitantes térmicas a grandes alturas o latitudes altas, pero *P. douglassi* hace ajustes en su comportamiento para compensar el ambiente más frio en estas región, la cual no presentó limitantes térmicas para la especie.

En este estudio *P. douglassi* tuvo una T_c promedio de 35.5 °C, muy semejante al intervalo óptimo de la temperatura (T_{sel}) que fue de 35 °C en el laboratorio. Las T_c en abril fueron significativamente más bajas que entre mayo y septiembre, durante los días soleados de abril los lagartos lograron mantener una T_c cercana a 30.8 °C incluso cuando las temperaturas del aire fueron de 1.58 °C. En este trabajo no se encontró diferencia en la selección de la T_c con respecto al tamaño, lo que sugiere que los individuos más pequeños de *P. douglassi* pueden termorregular con la misma eficiencia que los individuos grandes.

En este estudio se dedujo que *P. douglassi* tiene una eficiencia termorreguladora (E) muy alta y se le define como un termorregulador activo, además no tiene limitantes que impidan su termorregulación en un hábitat montañoso y son capaces de mantener T_c dentro de su intervalo óptimo tanto frente a una temperatura ambiental fría como en días soleados.

Woolrich-Piña et al., (2012) realizaron un trabajo relacionando las T_c de tres especies mexicanas de lagartijas cornudas (*P. braconnieri*, *P. orbiculare* y *P. taurus*) y se compararon con otros trabajos de este género de reptiles, con el fin de obtener resultados aplicables a este género.

La media de la T_c fue de 32.72°C para *P. braconnieri*, 32.54°C para *P. orbiculare* y 33.39°C para *P. taurus*. En este estudio se consideró que las tres T_c promedio son muy cercanas entre sí (todas dentro de 1°C). Comparados con otros trabajos, se consideró que las T_c de estos tres reptiles son cercanas con las T_c encontradas en otras especies de este mismo género (*P. asio* 32.4°C, *P. blainvilli* 34.9°C, *P. cornutum* 35.7°C, *P. coronatum* 34.55°C, *P. douglassi* 32.1°C, *P. m'callii* 37.15°C, *P. modestum* 20.9°C, *P. orbiculare* 37.9°C, *P. platyrhinos* 35.6°C)

En *P. braconnieri* y *P. taurus*, la T_c no es afectado por la temperatura del aire o del substrato, mientras que en la T_c de *P. orbiculare* si se ve afectado por las temperaturas ambientales. En otros trabajos (Prieto, y Whitford, 1971; Guyer y Linder, 1985; Lemos-Espinal et al 1997; Christian, 1998) se encontró que las T_c de *P. platyrhinos*, *P. asio*, y *P. douglassi* tuvieron una r^2 considerable con las temperaturas ambientales. Todo lo anterior sugiere que las temperaturas ambientales tienen un efecto mayor de lo que se creía sobre la T_c de las especies de lagartijas cornudas.

El tamaño del cuerpo no afectó T_c en cualquiera de las tres especies estudiadas. En el estudio Lemos-Espinal et al (1997), *P. asio* tampoco tuvo influencia en su T_c , por parte de su tamaño. Estos resultados sugieren que el tamaño no juega un papel importante en la termorregulación de las lagartijas cornudas, al menos en los individuos adultos. Para tallas más pequeñas se necesitan otros estudios que examinen la ecología térmica de las crías y juveniles. En cuanto al efecto del sexo, difirió en las tres especies. Las hembras de *P. orbiculare* tuvieron mayor T_c que los machos. Sin embargo, el caso de *P. braconnieri*, los machos tuvieron mayor T_c que las hembras. En *P. taurus* los machos y las hembras tuvieron su T_c similar. En este trabajo no ofrecieron una explicación para esta variación, aunque los resultados anteriores sugieren una mayor investigación sobre las diferencias sexuales en la ecología térmica de las lagartijas cornudas. Las tres especies de lagartijas cornudas observadas en este trabajo se encontraron más frecuente mente en hábitats expuestos a la luz solar, aunque algunos individuos también se encontraron en microhábitat sombreados. La diferencia de usos

de microhábitat soleados y sombreados que tienen estos reptiles refleja un comportamiento termorregulador, ya que sugiere que al estar moviéndose entre estos microhábitats les permite mantener su T_c en una temperatura ideal para su actividad.

Las lagartijas cornudas comparten un comportamiento termorregulador, que incluye la selección de las horas de su actividad, el uso de suelo desnudo, exposición directa a la luz solar y el enterrar su cuerpo quedando con su cabeza expuesta (Edwards, 1896; Heath, 1962; Heath, 1964; Pianka y William, 1975; Whiting, et al., 1993; Christian, 1998; Scott, 2005; Brennan y Holycros et al., 2006; Jones y Lovich, 2009; Woolrich-Piña, et al., 2012). Si bien la T_c y el intervalo de temperatura óptima (T_{sel}) varía según la especie (Heath, 1962; Prieto, y Whitford, 1971; Guyer y Linder, 1985; Woolrich-Piña, et al., 2012) estos comportamientos muestran que este grupo de reptiles invierten tiempo y parte de su actividad en termorregular eficientemente (Hertz, et al., 1993; Hodges, 2004).

III. JUSTIFICACIÓN

La lagartija cornuda *Phrynosoma solare* es un reptil característico del Desierto Sonorense y dentro del género presenta la distribución geográfica más amplia en el estado de Sonora, (Hodges, 2004) por lo que enfrenta ambientes con diferente calidad térmica. La termorregulación es de gran importancia en diferentes aspectos de la historia de vida de las especies (Cowles y Bogert, 1944) tales como la duración de su periodo de actividad, la reproducción, la alimentación, las conductas para evitar depredación así como en aspectos de su ecología y su distribución (Edwards, 1896; Christian, 1998) En este trabajo se evaluará la eficiencia termorreguladora de *P. solare*.

IV. HIPÓTESIS

Debido a las altas temperaturas registradas en los hábitats de *Phrynosoma solare*, esta especie debe ajustar sus niveles de actividad a las horas de menor calor a lo largo del día y termorregular activamente en el tiempo que tiene disponible. Se espera que esta especie registre una alta eficiencia en su termorregulación pues de lo contrario tendría que reducir marcadamente el tiempo destinado a otras actividades y optimizar sus procesos biológicos y ecológicos.

Si *P. solare* resultar ser una especie termorreguladora activa donde la temperatura del hábitat juega un papel importante, se esperaría no encontrar diferencias en la eficiencia termorreguladora en esta especie con respecto a características individuales como el peso, el tamaño (LHC), la robustez (coeficiente de condición) y sexo.

V. OBJETIVOS

V.1. Objetivo General

- Determinar la eficiencia de la termorregulación en la especie *Phrynosoma solare* en Hermosillo, Sonora.

V.2. Objetivos Específicos

- Determinar qué tipo de termorregulador es *P. solare*.
- Determinar la relación de la eficiencia en la termorregulación de *P. solare* con el tamaño, el peso corporal, el coeficiente de condición y el sexo.

VI. METODOLOGÍA

VI.1. Especie Objeto de Estudio

La lagartija *Phrynosoma solare* (Figura 1), tiene una LHC promedio en adultos de 117mm, con cuerpo comprimido dorso-ventralmente y cola corta. Una característica fundamental de la especie es la presencia de cuatro cuernos craneales planos en la parte posterior de la cabeza (Brennan y Holycroos 2006; Jones y Lovich, 2009), además de poseer escamas aisladas y puntiagudas en la parte posterior. La coloración dorsal varía de marrón rojizo, marrón o grisáceo dependiendo del sustrato y el color ventral es crema muy claro con lunares (Brennan y Holycroos 2006; Jones y Lovich, 2009).

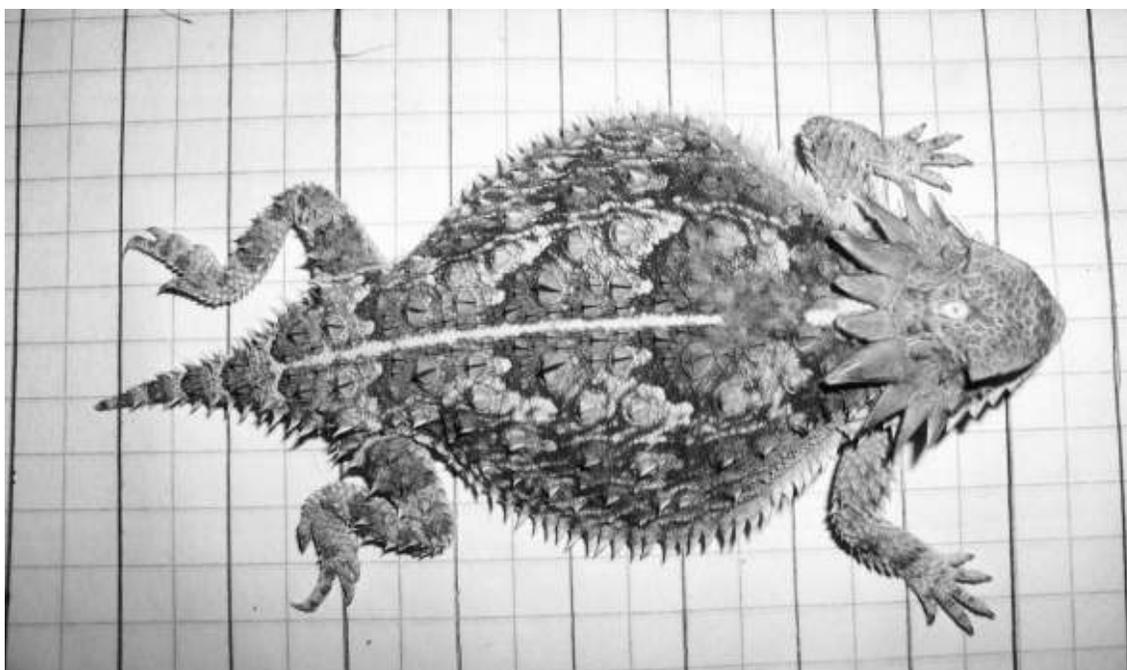


Figura 1. Individuo adulto de *Phrynosoma solare* colectado en Hermosillo Sonora. Una característica fundamental de la especie es la presencia de cuatro cuernos craneales planos en la parte posterior de la cabeza. Cada cuadro mide 0.5 x 0.5 cm. Fotografía tomada por Javier Verdugo

Su distribución geográfica abarca los estados de Sonora y Arizona (Figura 2), donde es común encontrarlos en los valles y pastizales semidesérticos (Scott, 2005; Brennan y

Holycroos, 2006; Jones y Lovich, 2009). Su microhábitat incluye vegetación baja como arbustos, pastos y plantas rastreras (Scott, 2005). Su alimentación está basada en hormigas del género *Pogonomyrmex* (Guyer y Linder, 1985; Christian, 1998; Scott, 2005; Brennan y Holycroos, 2006; Jones y Lovich, 2009).



Figura 2. Mapa de la distribución de *Phrynosoma solare* Tomado de Jones y Lovich (2009).

La actividad de *P. solare* es diurna, pero evitan las horas de mayor temperatura, por lo que se encuentra en las primeras horas de la mañana y las últimas del crepúsculo (Heath, 1962; Pianka y William, 1975). Son fáciles de atrapar debido a su relativa lentitud, se pueden perseguir caminando; aunque es posible encontrarlas entre los pastos, prefieren estar en áreas de suelo desnudo cazando hormigas, por lo que es común encontrar a este reptil cerca de un hormiguero o bien en un camino de hormigas (Heath, 1962; Pianka y William, 1975; Christian, 1998; Scott, 2005).

VI.2. Área de Estudio

La ciudad de Hermosillo en el Estado de Sonora se ubica dentro de la distribución del *P. solare*. Los alrededores de esta ciudad, están compuestos por un mosaico de pastos, arbustos y árboles bajos que brindan microclimas y microambientes propicios para *P. solare* (Edwards, 1896; Heath, 1962; Pianka y William, 1975; Whiting et al., 1993 Brennan y Holycroos 2006; Jones y Lovich, 2009; Eifler et al., 2012).

En Hermosillo, se identificaron varios sitios potenciales de distribución de *P. solare*: zonas con pastos nativos y áreas de suelo sin vegetación de acuerdo a lo mencionado por Pianka y William (1975), Guyer y Linder (1985) y Christian (1998), con hormigueros de *Pogonomyrmex*, los cuales se identifican como áreas sin vegetación y semicirculares en medio de zonas con pastos. Además, de estos se buscaron otros indicios de la presencia de *P. solare* como son sus excretas, que es característica por su color café oscuro, consistencia firme y seca, de textura granulosa y con una punta blanca, conformada de restos de hormigas (Edwards, 1896; Heath, 1962; Pianka y William, 1975; Whiting et al., 1999; Moeller et al., 2005; Stark, et al., 2005; Eifler et al., 2012). De esta manera y después de dos meses de búsqueda se seleccionaron dos sitios de muestreo donde se confirmó la presencia de la especie (Figura3). El sitio 1 se encuentra a 15 km al sureste de la ciudad y el sitio 2 se encuentra en un terreno baldío en la parte norte de la ciudad.



Figura 3. Área de estudio con localidades de muestreo de *Phrynosoma solare* en Hermosillo, Sonora

El Sitio 1 se localiza a 15 km al suroeste de la ciudad de Hermosillo; en una zona de terrenos campestres denominada “Real del 14”, formada en su mayoría por superficies con muy poco uso y con las condiciones idóneas para encontrar a *P. solare* como es la presencia de vegetación nativa, sobretodo pastos así como de hormigas granívoras. En la Figura 4 se muestra el polígono del Sitio 1, ubicado en las coordenadas 28°58′09.45″N, 111°03′31.27″O, 28°57′41.62″N, 111°03′47.11″O, 28°57′34.34″N, 111°03′01.66″O, 28°58′01.82″N, 111°02′55.5″O



Figura 4. Sitio de muestreo 1, ubicado a 15 km al suroeste de la ciudad de Hermosillo, en la zona de terrenos campestres “Real del 14”

El Sitio 2 se localiza al norte de la ciudad de Hermosillo, es un terreno que se ubica por el Boulevard “Progreso” entre la calle “ Dr. Domingo Olivares” y Boulevard “Solidaridad”. Es un terreno deshabitado rodeado por la zona urbana, con presencia de *P. solare*. En la Figura 5 se muestra el polígono con las cordenadas de su localización, 29°08′51.34″N, 110°59′42.31″O 29°08′40.51″N, 110°59′37.97″O, 29°08′56.88″N, 110°59′17.79″O 29°08′43.97″N, 110°59′12.76″O



Figura 5. Sitio de muestreo 2, ubicado en un terreno baldío al norte de la ciudad de Hermosillo Sonora. La calle más grande en la parte inferior de la fotografía es el Boulevard “Progreso” la calle “Dr. Domingo Olivares” se encuentra a la derecha del polígono.

Diversos autores describen que la mayor actividad de *P. solare* ocurre principalmente entre abril y octubre de acuerdo (Heath, 1962; Pianka y William, 1975; Guyer y Linder, 1985; Stark, et al. 2005) por lo que los muestreos se realizaron entre abril y agosto del 2011 con una periodicidad de tres o más veces por semana en cada sitio.

VI.3. Termorregulación

Para evaluar la eficiencia en la termorregulación (E) de *P. solare* se empleó el protocolo propuesto por Hertz et al. (1993) que se ha utilizado en la determinación de la eficiencia de la termorregulación para animales pequeños (Christian y Bedford, 1995; Christian, 1998; Gvoždik, 2002; Seebacher y Shine, 2006; Navarro-García et al., 2008).

Para ello, se midió la temperatura corporal (T_c) de cada ejemplar capturado, la temperatura del aire donde se encontró cada ejemplar (T_a), la temperatura del sustrato (T_s) y las temperaturas de los modelos de cobre (T_θ) colocados en el ambiente de ocupación de *P. solare*. También se tomaron datos en laboratorio para obtener la intervalo de la temperatura seleccionada (T_{sel}), la cual se utilizó para calcular el índice de la calidad térmica del hábitat (de) y el índice de la precisión en la obtención de la temperatura del reptil (db). Con los

índices anteriores se determinó la eficiencia de la termorregulación (E), considerando que los valores más cercanos a 1 se asume que la especie es un termorregulador activo y más cercanos a 0 es un termoconformista.

Se registró la hora a la que se capturó cada lagartija, el sitio, la fecha, T_c , T_s y T_a , en grados centígrados, utilizando un termómetro digital de lectura rápida (Fluke 53 III con una precisión de 0.1°C ; Hertz et al., 1993; Moeller et al., 2005; Navarro-García et al., 2008). La T_s y T_a se midieron donde se observó a la lagartija por primera vez (Hertz et al., 1993; Moeller et al., 2005; Newbold, 2005).

Para el manejo de los ejemplares se utilizó un guante de carnaza, que evita la transferencia de calor a la lagartija y no afectar la toma de T_c . Una vez capturado el organismo se introdujo el sensor del termómetro digital en su cloaca, hasta que la lectura se estabilizó, lo cual tardó un par de segundos. El registro de T_c es el primer dato en tomarse al individuo, para evitar que su manipulación afecte la lectura. Otros datos obtenidos para cada ejemplar incluyeron: longitud de hocico-cloaca (LHC) y longitud de la cola (LC) empleando un vernier digital (0.01mm), y el peso en g, con una pesola de $60 \times 1\text{g}$. Posteriormente se calculó el coeficiente de condición o robustez dividiendo el peso entre la LHC.

Las lagartijas capturadas fueron marcadas con un marcador permanente, pintando la superficie ventral de sus cuernos posteriores, con el fin de identificarlas en futuras recapturas de acuerdo a Hertz et al. (1993) Christian y Bedford (1995) Gvoždik (2002) y Navarro-García et al. (2008).

VI.3.1. Relación entre la temperatura corporal (T_c) y las temperaturas ambientales (T_s y T_a)

Con el uso de los valores obtenidos de temperatura corporal T_c , temperatura del aire (T_a) y temperatura de suelo (T_s) se llevó a cabo un análisis de regresión múltiple entre T_c contra T_a y T_s para determinar si T_a y T_s afectan de manera significativa a la T_c (Hertz et al., 1993; Christian, 1998; Hair et al., 1999; Navarro-García et al., 2008; Woolrich-Piña et al., 2012). Se utilizó el programa SPSS Statistics 20, y el nivel de significancia fue de 0.05.

VI.3.2. Temperatura del Modelo de Cobre (T_0)

Se elaboraron nueve modelos de cobre que asemejaron las dimensiones de volumen y longitud de un *P.solare* adulto (Figura 6), estos modelos tuvieron las siguientes dimensiones: 10cm de largo, 4.5cm de la parte más ancha, y 2.5cm de la parte más gruesa (Hertz et al., 1993; Shine y Kearney 2001; Dzialowski, 2005). La temperatura registrada por los modelos de cobre (T_0) fue utilizada como grupo control, y supone la condición de un reptil totalmente termoconformista, es decir, que no realiza ningún ajuste para controlar su temperatura y simplemente tiene la misma temperatura disponible en el ambiente (Hertz et al., 1993; Shine y Kearney, 2001; Dzialowski, 2005). En cada sitio se registraron las temperaturas de los modelos de cobre (T_0). Los modelos se dejaron dos días en cada área de estudio, en puntos donde *P. solare* suele habitar, como son bajo el dosel de un arbusto, entre el pasto y sobre el suelo desnudo. Se midió la temperatura de estos modelos durante cada hora desde las 06:00 hasta la 17:00 hrs.

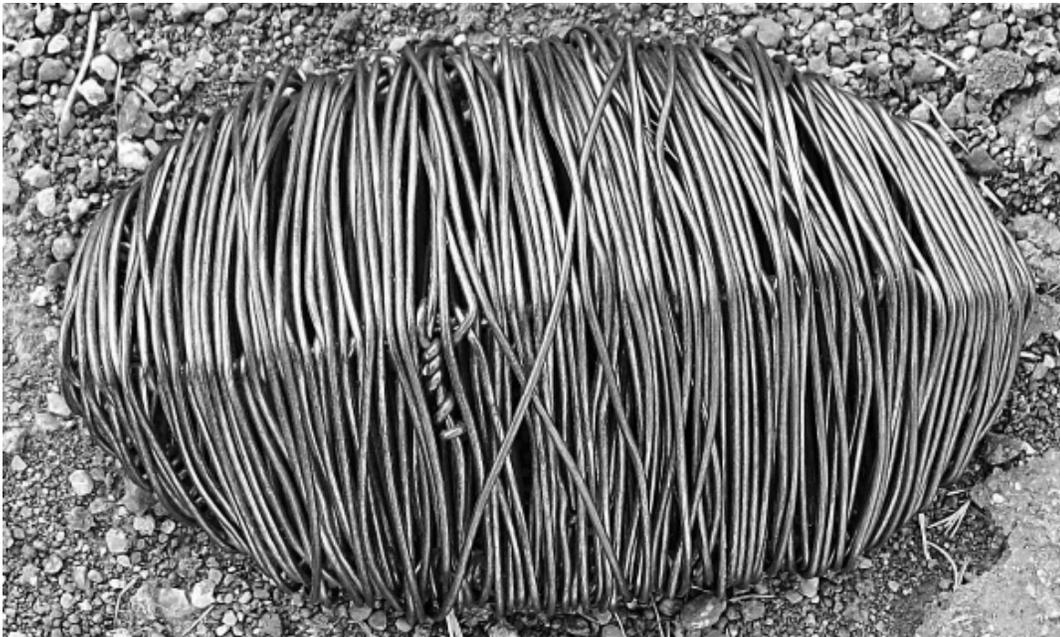


Figura 6. Modelo de cobre empleado para medir la T_0 . El modelo mide 10 cm de largo, 4.5 cm en la parte más ancha, y 2.5 cm de la parte más gruesa.

El modelo de cobre debe tener una absorbancia térmica semejante al reptil en estudio, por ello es muy importante calibrar el modelo con un ejemplar del reptil que se estudia (Dzialowski, 2005). Para la calibración se colocó un modelo de cobre en suelo desnudo, que es donde *P. solare* suele termorregular. Cerca del modelo, y bajo las mismas condiciones, se

colocó un ejemplar adulto de *P. solare* inmovilizado (se sujetaron las extremidades al cuerpo con cinta adhesiva) a fin de asegurar que absorbieran calor del mismo sustrato al mismo tiempo. Tanto el modelo como el réptil se monitorearon simultáneamente. El monitoreo fue el 21 de mayo desde las 18:00 h hasta las 19:54 h tomando la temperatura cada tres minutos simultáneamente al organismo y al modelo. Se calculó el coeficiente de determinación (r^2) para determinar qué tanto explica el modelo de cobre la absorbancia de la temperatura de *P. solare*, (Hair et al., 1999; Dzialowski, 2005). Para el análisis de estos datos se empleó el programa SPSS Statistics 20.

En el sitio1, se tomaron las temperaturas de T_0 , el 2 de Julio y se monitoreó la temperatura de cada modelo con una frecuencia de una hora desde las 06:23h hasta las 16:55 h, el cual se tuvo que suspender por cuestiones climáticas. En el sitio2, se registraron las temperaturas de T_0 , el 30 de Junio y se monitoreó la temperatura de cada modelo de igual manera que en el anterior desde las 05:25 a las 18:25 h.

VI.3.3. Temperaturas Seleccionadas (T_{sel})

Los especímenes capturados utilizados en la toma de medidas y temperaturas en campo, fueron llevados al laboratorio conforme se fueron capturando para tenerlos en cautiverio el menor tiempo posible ya que son animales que se estresan mucho. En experimento del gradiente se colocaron los reptiles en una caja de cartón prensado, de 150 cm de largo, 60 cm de ancho y 20 cm de alto, dividida en tres carriles bajo un gradiente térmico, creado por lámparas incandescentes y hielo en los extremos de los carriles, obteniendo un gradiente de temperatura 20 °C a 50 °C (Figura 7). Se utilizaron lámparas de 100 Watts a tres diferentes alturas, y después de 20 minutos de encendidos se comprobaron las temperaturas del gradiente. Este procedimiento se llevó a cabo en un laboratorio bajo temperatura controlada. Al centro de la caja se colocaron hasta tres lagartijas, una por cada carril y se mantuvieron allí una hora para lograr la aclimatación. Se registró la temperatura corporal de cada lagartija cada hora, utilizando guante de carnaza para no influir en la lectura de su temperatura corporal, colocando el sensor del termómetro digital en la cloaca de la lagartija hasta que la lectura se estabilizó, operación que tardó un par de segundos. Las temperaturas corporales registradas en el gradiente se ordenaron de menor a mayor y se consideró que los datos encontrados entre los

intercuartiles 25% y 75%, corresponden al intervalo de temperatura seleccionada (T_{sel}) por lo que representaron las temperaturas óptimas de en la termorregulación de *P. solare* de acuerdo a lo reportado por Hertz et al. (1993) Christian y Bedford (1995) Gvozdk (2002) y Navarro-García et al. (2008). Una vez registradas las temperaturas en el laboratorio, los ejemplares fueron liberados en el mismo punto de captura donde se capturó cada individuo.



Figura 7. Caja experimental (15 x 60 x 20 cm), donde se creó un gradiente de temperatura de 20 °C (extremo derecho) a 50 °C (extremo izquierdo)

VI.3.4. Determinación de la Eficiencia en la Termorregulación (E)

Con todos los valores descritos previamente se procedió a obtener el índice de precisión en la termorregulación (db) de *P. solare* utilizando la siguiente fórmula:

$$db = |T_c - T_{sel}|$$

Donde db es la diferencia absoluta entre T_c y T_{sel} , la cual es una medida de la desviación individual de T_c con respecto a T_{sel} .

El valor promedio de db es un reflejo de la precisión para termorregular en la población muestreada, por lo que valores altos de db indican una falta en la precisión, mientras que valores cercanos a 0 indican una alta precisión por parte del organismo (Hertz et al., 1993).

El índice de la calidad térmica del hábitat (de) se calculó con la siguiente fórmula:

$$de = | T_0 - T_{sel} |$$

Donde de es la desviación absoluta entre T_0 y T_{sel} y es una medida de la calidad térmica del hábitat con respecto a T_{sel} . La magnitud de de indica que tan favorable es la calidad térmica del hábitat del organismo, donde los valores altos indican baja calidad térmica y los valores iguales o cercanos a 0 son térmicamente ideales (Hertz et al., 1993).

Posteriormente, con los resultados promedios de db y de , se calculó la eficiencia en la termorregulación (E) de la población mediante la siguiente ecuación:

$$E = 1 - (db/de)$$

Donde, una E igual o cercana a 0 se refiere a organismos que no están termorregulando eficientemente por lo que se comportan como un termoconformista. Un valor de E cercano a 1, indica una alta eficiencia termorreguladora del organismo y se considera como un termorregulador activo (Hertz et al., 1993; Christian y Bedford, 1995; Gvoždik 2002; Navarro-García et al., 2008).

VI.4. Relación de la Eficiencia en la Termorregulación con el Tamaño, Peso y Coeficiente de Condición

Para conocer la relación de E con respecto al tamaño (LHC), peso y coeficiente de condición (robustez), primero se utilizó la db de cada individuo de *P. solare* para luego obtener la E individual; con esta se realizó un coeficiente de determinación de E con respecto al tamaño, peso, y robustez (Christian, 1998; Hair et al., 1999; Karraker y Welsh 2006; Woolrich-Piña et al., 2012) donde se utilizó el programa SPSS (Statistics 20) para su cálculo.

VI.5. Comparación de la Eficiencia en la Termorregulación entre los sexos de *P. solare*

Utilizando la E individual y por medio de una prueba de Wilcoxon se puede determinar si hay una diferencia entre los sexos al termorregular, donde se utilizó el programa SPSS (Statistics 20) para su cálculo (Hair et al., 1999).

VII. RESULTADOS

Se capturaron 38 individuos de *P. solare* para este estudio (Apéndice 2). La captura más temprana en la mañana fue a las 06:29 y la más tardía a las 11:20 hrs durante el periodo matutino, mientras que durante el muestreo vespertino la captura más temprana fue a las 17:29 y la más tardía a las 20:02 hrs. Los primeros 15 individuos capturados fueron hembras y posteriormente al 6 de julio se registraron 11 machos. El tamaño (LHC) y el peso promedio de los individuos registrados fue de 77.38 mm y 29.05 g respectivamente mientras que el coeficiente de condición corporal (robustez) fue de 0.35 g/mm (Tabla I).

Los promedios de la T_c , T_s y T_a , fueron de 36.3 °C, 35.17 °C y 32.72 °C respectivamente (Tabla I). Si bien los promedios son similares, la variación es mayor en la T_s .

Tabla I. Valores promedio y Desviación Estándar de las variables registradas para el estudio de eficiencia en la termorregulación en *Phrynosoma solare*.

	Promedio	Desviación estándar
Temperatura Corporal(T_c)	36.3 °C	2.067
Temperatura del Sustrato(T_s)	35.17 °C	3.964
Temperatura del Aire(T_a)	32.72 °C	3.114
Longitud Hocico Cloaca(LHC)	77.38 mm	14.511
Peso	29.05g	14.43
Coefficiente de Condición o robustez	0.35 g/mm	0.133

Los datos obtenidos en campo (T_c , LHC y peso) de los dos sitios de muestreo se compararon utilizando una prueba de ANOVA. En todos los casos no se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa (Tabla II), por lo que no se pudo rechazar la hipótesis nula de que el Sitio 1 y el Sitio 2 son iguales, esto permitió analizar los datos como una sola población (Hair et al., 1999).

Tabla II. Análisis de Varianza entre los dos sitios muestreados

	F	p	Grados de libertad
Temperatura Corporal(T_c)	2.76344	0.105	37
Longitud Hocico Cloaca(LHC)	-0.01004	0.636	36
Peso	0.01646	0.844	37

VII.1. Temperaturas Modelo de Cobre (T_0)

El análisis de la temperatura registradas (39 pares) para el modelo de cobre y la lagartija sugieren que el modelo de cobre es un buen indicador de cómo absorbe *P. solare* la temperatura de su ambiente (Apéndice 3). En el análisis de regresión se obtuvo una r^2 de 0.947, lo que indica que la variación en las temperaturas del modelo de cobre explican el 94.7% de las variaciones de la temperatura corporal registrada en los individuos de *P. solare* (Figura 8).

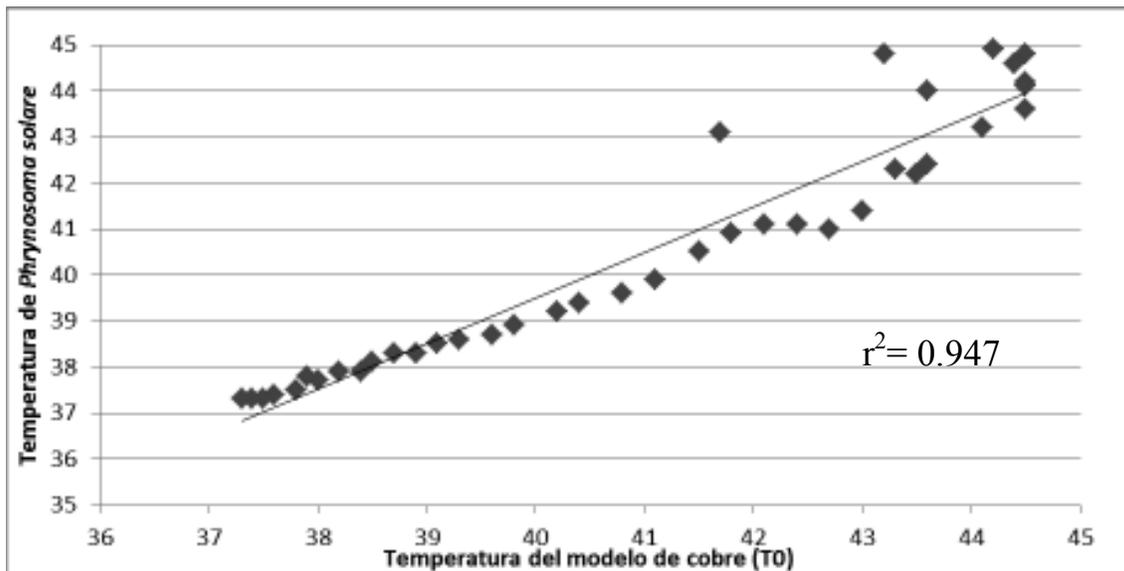


Figura 8. Regresión entre la temperatura del modelo de cobre y la temperatura corporal de *P.solare* adulto

La T_0 promedio para el sitio 1 fue de 46.41 °C (Apéndice 4) y en el Sitio 2 fue de 46.99°C (Apéndice 5). Lo anterior significa que si la lagartija cornuda no termorregulara de forma conductual, la temperatura promedio adquirida del ambiente sería la registrada para cada sitio.

VII.2. Temperatura Seleccionada (T_{sel})

Con los datos de las temperaturas registradas en el gradiente térmico se determinó la T_{sel} , de *P. solare* que corresponde al intervalo óptimo de temperatura para la especie. El intercuartil del 25% al 75% de las temperaturas corporales registradas en el gradiente térmico fue de 36.6 °C a 38.6 °C (Apéndice 6).

VII.3. Determinación de la Eficiencia en la Termorregulación (E)

Se obtuvo una db promedio de $1.13\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que indica que *P. solare* tiene una alta precisión para acercarse a su temperatura corporal ideal (Apéndice 7). También se obtuvo una de promedio de $9.99\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual indica una baja calidad térmica ya que difiere casi en $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la temperatura de su hábitat con respecto a la temperatura óptima para termorregular (Apéndice 8).

Se determinó que la eficiencia en la termorregulación de *P. solare* en los sitios de estudio fue con una $E = 0.89$ lo cual sugiere una eficiencia alta en su termorregulación (cercana a 1), por lo que se le considera como que es un reptil que termorregulador activo.

VII.4 Relación entre la Temperatura Corporal (T_c) y la Temperatura del Ambiente (T_a y T_s)

La gráfica de las diferentes temperaturas muestra la distribución de T_c , T_s , T_a y T_{set} (Figura 9). La variación de T_c es de 10.4°C en los extremos, pero 29 de los 38 especímenes capturados se encuentran entre los 34° y 38°C (Apéndice 2), mientras que las temperaturas del ambiente tienen intervalos más amplios que la T_c .

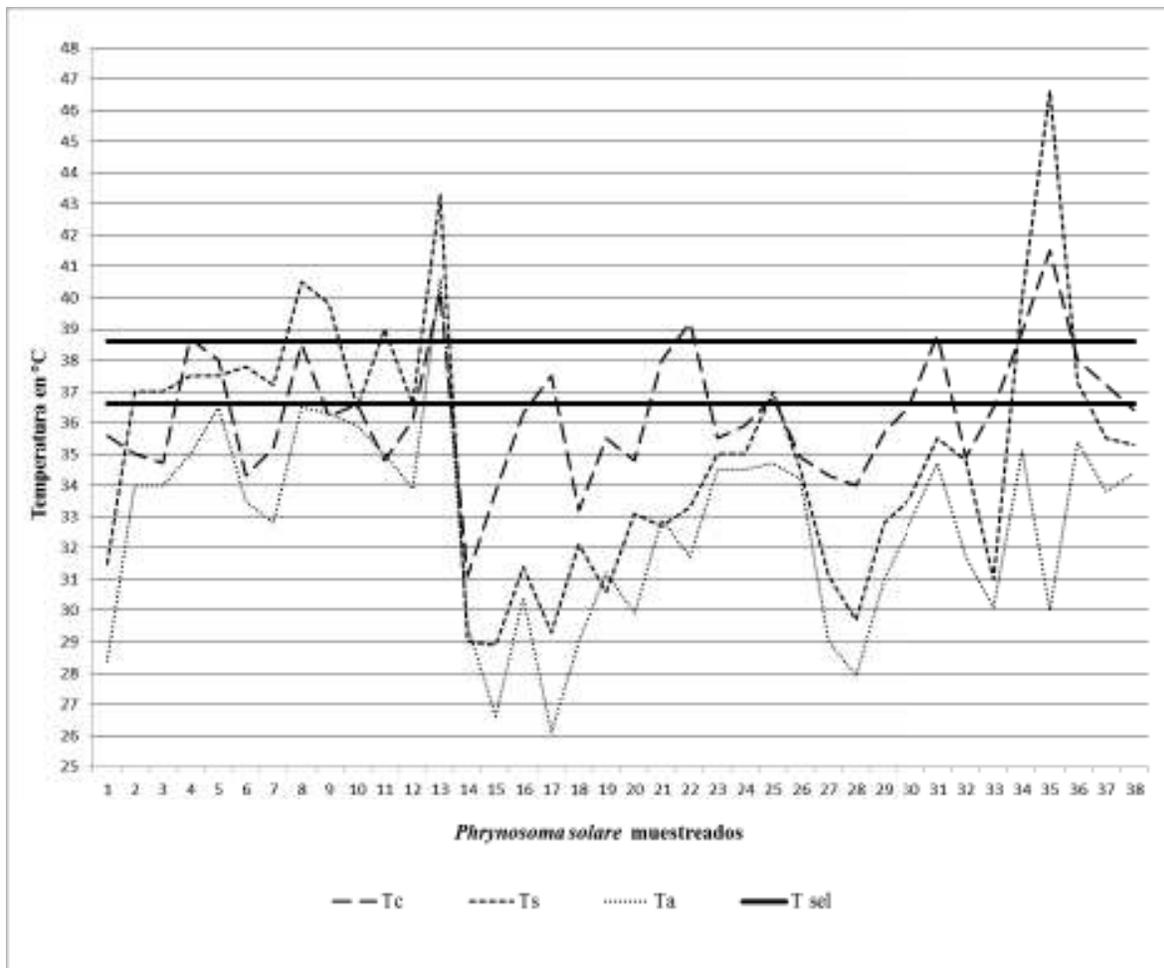


Figura 9. Variación individual de Temperatura Corporal (T_c) temperatura del suelo (T_s) y temperatura del aire (T_a) con la temperatura seleccionada (T_{sel}).

En la regresión de la temperatura corporal con respecto a la temperatura del sustrato se obtuvo una $r^2 = 0.35$ ($F= 21.64$, $P < 0.001$), mientras que en la regresión de la temperatura corporal y la temperatura del aire se obtuvo una $r^2 = 0.17$ ($F= 8.47$, $P= 0.006$). Por lo anterior se entiende que la temperatura del sustrato tiene más efecto que la ambiental sobre la temperatura corporal.

En el análisis de regresión múltiple para determinar qué tanto explican las temperaturas ambientales (T_s y T_a) y la T_c de *P. solare* se obtuvo una $r^2 = 0.33$ ($F= 10.24$, $P < 0.001$), lo que indica que la T_s junto con T_a explican el 33% de la T_c .

VII.5. Relación de la Eficiencia en la Termorregulación entre las Tamaño, Peso y Coeficiente de Condición

En la Figura 10 se muestra que no hay relación entre el tamaño corporal con la eficiencia en la termorregulación de *P. solare* ($r^2= 0.031$, $p=0.057$) Similar resultado se encontró con relación al peso ($r^2= 0.009$, $p= 0.343$) y la robustez ($r^2= 0.001$, $p= 0.666$).

VII.6. Comparación de la Eficiencia en la Termorregulación entre los sexos de *P. solare*

Utilizando la prueba de Wilcoxon se obtuvo un valor z de -0.357 y un valor p de 0.721 por lo que se aprueba la hipótesis nula de que las muestras de hembras y machos son iguales en su eficiencia al termorregular.

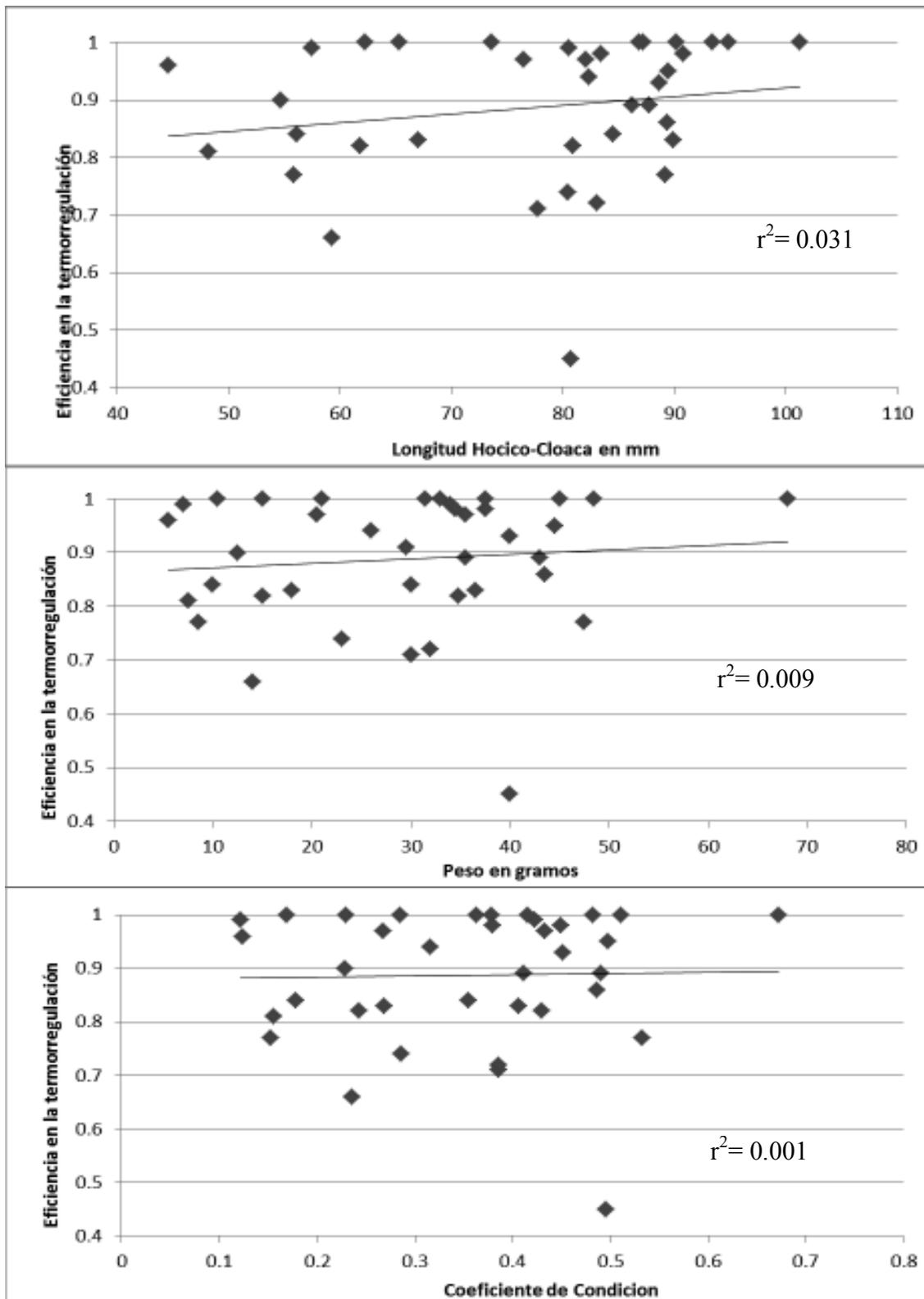


Figura 10. Análisis de regresión (r^2) entre la eficiencia en la termorregulación (E) y (a) el tamaño (LHC), (b) peso y (c) coeficiente de condición en *Phrynosoma solare*

VIII. DISCUSIÓN

En este estudio se determinó que *P. solare* es muy eficiente para termorregular, lo que permite clasificarlo como un termorregulador activo; lo anterior indica que compensa la calidad térmica desfavorable de su ambiente (Hertz et al., 1993; Christian, 1998). Este es el primer estudio sobre la eficiencia en la termorregulación para *Phrynosoma solare*, por lo que no es posible comparar la eficiencia en la termorregulación (E) la precisión en la obtención de la temperatura corporal (db) ni la calidad térmica del hábitat (de) en otros sitios para esta especie.

La comparación entre las muestras de los Sitios 1 y 2 son semejantes, por lo que se consideraron como una población y se estimó sólo un índice E para evaluar la eficiencia térmica de la especie esto indica que, a pesar de las diferencias ambientales y la marcada perturbación entre los sitios, las lagartijas cornudas mantuvieron una termorregulación similar en ambos sitios.

En este estudio se determinó que *P. solare* tiene una T_c de 36.3°C ($DE\pm 2.1$), lo cual es mayor a lo registrado por Prieto y Whitford, (1971) quienes reportaron en *P. solare* una T_c de 34.7°C . Debido a que dicho trabajo no hace mención a información de termorregulación de esta lagartija cornuda, o registros de temperatura del sustrato (T_s) ni la temperatura del aire (T_a). Comparado con otras lagartijas cornudas del género, encontramos que la T_c de *P. solare* en este estudio es más alta que la de las especies de lagartijas cornudas estudiadas en Puebla, México (Woolrich-Piña et al. 2012).

La temperatura del ambiente de *P. solare* se aleja 9.99°C del intervalo óptimo de temperatura para esta especie, se tiene una baja calidad térmica del medio ambiente para esta lagartija cornuda. Ya que faltan estudios que utilicen el protocolo de Hertz et al. (1993) en lagartijas cornudas en el desierto, no es posible hasta la fecha comparar la calidad térmica de *Phrynosoma solare* con la calidad de otra lagartija del mismo género.

No obstante se puede apreciar que la T_c de *P. solare* es más influenciada por la T_s que por la T_a pero que ambas explican el 33% de la T_c . si bien a calidad térmica del hábitat resultó desfavorable para *P. solare*, sin embargo no es limitante en su comportamiento termorregulador. Lo anterior coincide con el estudio de Woolrich-Piña et al. (2012), donde *P.*

orbiculare también tiene su T_c influenciada por ambas temperaturas ambientales, siendo la T_s la que más influye en su T_c . Las otras dos especies de lagartijas cornuda del estudio de Woolrich-Piña et al. (2012) no presentan influencia en su T_c por parte de ninguna de las temperaturas ambientales medidas por lo que concluye que la influencia en la T_c por alguna temperatura ambiental (T_s o T_a) varía según la especie de lagartija cornuda.

Ya que las temperaturas ambientales en las que *P. solare* tiene su actividad son más altas que las temperaturas ambientales de las tres especies de lagartijas cornudas estudiadas en Puebla, (Woolrich-Piña et al., 2012), y la T_c de *P. solare* también es más alta debido a que tiene una relación significativa con sus temperaturas ambientales, es por ello *P. solare* debe estar adaptado a tener su actividad sujeto a temperaturas más altas que las especies de lagartijas cornudas estudiadas en Puebla (Woolrich-Piña et al., 2012).

La calibración del modelo de cobre resultó en una r^2 de 0.947 lo cual indica una fuerte relación entre la conductividad térmica del modelo de cobre (T_θ) con respecto a los individuos de lagartijas cornudas de este estudio. Esto mostró que el modelo de cobre es confiable al obtener el valor de T_θ , (Hair et al., 1999; Shine y Kearney, 2001; Dzialowski, 2005). La T_c y el intervalo de temperatura óptima (T_{sel}) varía según la especie (Heath, 1962; Prieto, y Whitford, 1971; Guyer y Linder, 1985; Woolrich-Piña, et al., 2012).

P. solare selecciona las primeras horas del día y las últimas del atardecer como las más propicias para su actividad, este comportamiento está registrado en diferentes estudios en lagartijas del género *Phrynosoma* (Heath, 1962; Pianka y William, 1975; Christian, 1998).

En este trabajo también se determinó que *P. solare* es muy preciso al obtener su temperatura corporal ideal, teniendo un error máximo de 1.13°C. Lo anterior le permite que, ante una baja calidad térmica de su hábitat, tener una alta eficiencia al termorregular. En otros trabajos se ha concluido que el género *Phrynosoma*, tiene un comportamiento de selección de hábitat y selección de horas de actividad que le permite termorregular eficientemente (Edwards, 1896; Heath, 1962; Heath, 1964; Pianka y William, 1975; Whiting, et al., 1993; Christian, 1998; Scott, 2005; Brennan y Holycros et al., 2006; Jones y Lovich, 2009; Woolrich-Piña, et al., 2012). Blouin-Demers y Nadeau (2005). Un termorregulador activo como lo es *P. solare* compensa la baja calidad térmica para obtener ventajas en su hábitat, alimentación, reproducción, evasión de la depredación, etc.

Tomando en consideración la eficiencia termorreguladora que se calculó para cada individuo de *P. solare*, se determinó que el peso, el tamaño (LHC) y la robustez (coeficiente de condición) no afectan la eficiencia termorreguladora en esta especie. Woolrich-Piña et al. (2012), quienes trabajaron con tres especies del género *Phrynosoma* (*P. braconneri*, *P. orbiculare* y *P. taurus*), y también Christian (1998) y Guyer y Linder, (1985), quienes trabajaron por separado con *P. douglassi*, llegaron a la conclusión que el tamaño medido como LHC de las lagartijas no influye en su T_c . Las conclusiones anteriores son congruentes con los resultados de este trabajo puesto que la E tiene una relación muy baja con el tamaño en esta especie. En el estudio de Hare, et al (2010), concluyen una relación entre el peso, donde las lagartijas con menor masa (peso), mayor sensibilidad térmica al ambiente lo que significa que entre menos peso, se calientan y enfrían más rápido, y por otro lado entre mayor sea su masa tardan más tiempo en calentarse y enfriarse. Aunque en este estudio con *P. solare* se determinó que la E no tiene una relación con su peso, esto se debe a que esta lagartija cornuda presenta un comportamiento termorregulador que le permite a los individuos con tamaños y pesos diferentes, que puedan tener los mismo niveles de eficiencia térmica.

Utilizando una prueba de Wilcoxon se determinó que no hay diferencia entre la eficiencia con la que termorregulan machos y hembras, pero de acuerdo a las capturas en este estudio, se puede apreciar que la presencia de los machos (a partir del 6 de julio) tiene relación con el primer evento de lluvia (2 de julio 2011) en la ciudad de Hermosillo, y lleva a suponer que las primeras lluvias de verano estimulan la actividad de los machos, sugiriendo diferencias entre la actividad de machos y hembras. Esta observación concuerda con lo encontrado por Moeller, et al. (2005) en la especie *P. cornutum*.

Algunos autores han encontrado variación en la actividad entre sexos (Moeller et al., 2005; Stark et al., 2005; Woolrich-Piña, et al., 2012). Por ejemplo, Stark et al. (2005) encontraron diferencias entre los dos sexos en las actividades de las lagartijas *P. cornutum*, donde se determinó que los machos en época de apareamiento (de junio a julio) recorren más distancia en un día que las hembras. Woolrich-Piña, et al. (2012). Estudio tres especies de lagartos cornudos, y encontraron que dos de ellas presentan una diferencia entre sus temperaturas corporales lo que puede indicar como una diferencia entre la eficiencia termorreguladora de los sexos, en la otra especie no se encontró una diferencia en la T_b , y se

llega a la conclusión que la diferencia entre la T_b con respecto a los sexos es una característica particular de cada especie del género *Phrynosoma*.

Debido a que solo se capturaron 11 machos la comparación entre la eficiencia termorreguladora entre sexos puede ser inexacta, en estudios futuros deben considerarse el realizar muestreos más exhaustivo que permitan obtener suficientes ejemplares de ambos sexos para poder hacer comparaciones entre machos y hembras y determinar una posible diferencia en la termorregulación entre sexos (Moeller et al., 2005; Stark et al., 2005; Eifler et al., 2012; Woolrich-Piña et al., 2012).

IX. CONCLUSIONES

Las lagartijas cornudas de la especie *Phrynosoma solare* tienen una alta eficiencia al termorregular y son consideradas como termorreguladores activos, compensando la baja calidad térmica de su hábitat. Esta especie selecciona sus horas de actividad en las mañanas y en el ocaso, para evitar las horas de mayor temperatura en el día. Lo anterior es una prueba de su comportamiento termorregulador el cual debe permitirle optimizar el aprovechamiento de su hábitat, su alimentación, su reproducción, su evasión de la depredación, etc.

Phrynosoma solare es muy preciso para controlar su temperatura, mantiene una E alta, sin que influya, el tamaño, el peso ni el coeficiente de condición. Lo anterior concluye que una lagartija cornuda pequeña termorregular con la misma eficiencia que una lagartija más grande.

De igual manera no se encontró diferencias en la E entre machos y hembras lo que sugiere que termorregulan con la misma eficiencia independientemente de su sexo.

X. LITERATURA CITADA

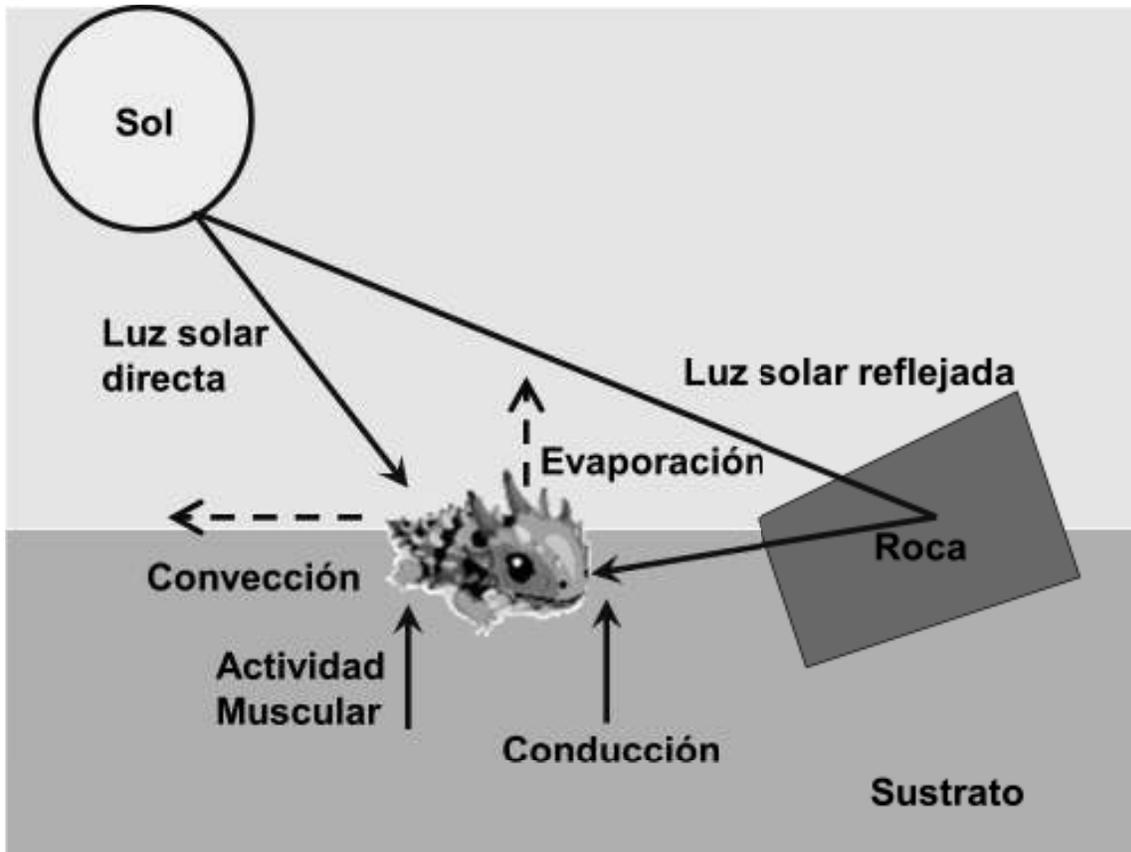
- Blouin-Demers, G. y P. Nadeau. 2005. The cost–benefit model of thermoregulation does not predict lizard thermoregulatory behavior. *Ecology* 86:560–566.
- Brattstrom, B. H. 1965. Body temperatures of reptiles. *American Midland Naturalist* 73:376-422.
- Brennan, T. C. y A. T. Holycros. 2006. *A Field Guide to Amphibians and Reptiles in Arizona*. Arizona Game and Fish Department, Phoenix Estados Unidos.
- Christian, K. A. 1998. Thermoregulation by the short-horned lizard (*Phrynosoma douglassi*) at high elevation. *Journal of Thermal Biology* 23:395-399.
- Christian, K. A., y G. Bedford. 1995. Thermoregulation by the spotted tree monitor, *Varanus scalaris*, in the seasonal tropics of Australia. *Journal of Thermal Biology* 21:61-73.
- Guyer C., A. D. Linder (1985) Thermal ecology and activity patterns of the short-horned lizard (*Phrynosoma douglassi*) and the sagebrush lizard (*Sceloporus graciosus*) in southeastern Idaho. *Western North American Naturalist* 45: 607-614.
- 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* 83:261-296.
- Daza, E. P., M. Royman y A. Gras. 2008. Termorregulación de lagartos en la formación de profesores de ciencias naturales y educación ambiental. *Ciência & Educação (Bauru)* 17:663-678.
- Dzialowski, E. M. 2005. Use of operative temperature and standard operative temperature models in thermal biology. *Journal of Thermal Biology* 30:317-334.
- Edwards, C. L. 1896. Life Habits of *Phrynosoma*. *Science* 3:763-765
- Eifler, D. A., M. A. Eifler, y T. K. Brown. 2012. Habitat selection by foraging Texas Horned Lizards, *Phrynosoma cornutum*. *The Southwestern Naturalist*, 57:39-43.
- Gvoždik, L. 2002. To heat or to save time? Thermoregulation in the lizard *Zootoca vivipara* (Squamata: Lacertidae) in different thermal environments along an altitudinal gradient. *Canadian Journal of Zoology* 80:479-492.
- Hair, J., R. Anderson, R. Tatham y W. Black. 1999. *Análisis Multivariante*. Prentice Hall Iberia, Madrid, España.

- Hare, K., S. Pledger, M. Thompson, J. Miller y C. Daugherty. 2010. Nocturnal lizards from a cool-temperatures. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 180:1173-1181.
- Heath, J. E. 1962. Temperature-independent morning emergence in lizards of the genus *Phrynosoma*. *Science*. 138:891-892.
- Heath, J. E. 1964. Head-Body Temperature Differences in Horned Lizards. *Physiological Zoology* 37:273-279.
- Hertz, P. E., B. R. Huey y R. D. Stevenson. 1993. Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question. *The American Naturalist* 142:796-818.
- 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 the Ecology of Reptiles. 25-91p En: Gans, C. y F. H. Pough (Eds.), *Biology of the Reptilia*. Academic Press, London, Reino Unido.
- Huey, R. B. y M. Slatkin. 1976. Cost and Benefits of Lizard Thermoregulation. *The Quarterly Review of Biology* 51:363-384.
- Jones, L. L. C. y R. E. Lovich. 2009. *Lizards of the American Southwest*. Rio Nuevo, Tucson, Estados Unidos.
- Karraker, N.E. y H.H.Jr. Welsh. 2006. Long-term impacts of even-aged timber management on abundance and body condition of terrestrial amphibians in Northwestern California. *Biological Conservation* 131:132-140.
- Keith C. y G. Bedford 1995. Thermoregulation by the spotted tree Monitor, *Varanus scalaris*, in the seasonal Tropics of Australia. *Journal of Thermal Biology*. 21: 61-73
- Lemos-Espinal, J.A., G.R. Smith, 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.
- Moeller, B. A., E. C. Hellgren, D. C. Ruthven, R. T. Kazmaier y D. R. Synatzske. 2005. Temporal differences in activity patterns of male and female Texas Horned Lizards (*Phrynosoma cornutum*) in Southern Texas. *Journal of Herpetology* 39:336-339.

- Muth, A. 1977. Thermoregulatory postures and orientation to the sun: A mechanistic evaluation for the Zebra-Tailed Lizard, *Callisaurus draconoides*. *Copeia* 1977:710-720.
- Navarro-García, J. C., A. García y F. R. Méndez. 2008. Estacionalidad, eficiencia termorreguladora de *Aspidoscelis lineatissima* (Sauria:Teiidae) y la calidad térmica del bosque tropical caducifolio en Chamela, Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 413- 419.
- Pianka E. R. y S. P. William. (1975). Ecology of Horned Lizards: A Review with Special Reference to *Phrynosoma platyrhinos*. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists* 1975: 141-162
- Pough, H. 1980. The advantages of ectothermy for tetrapods. *The American Naturalist* 115: 92 -112.
- Prieto, A. A. J. y W. G. Whitford. 1971. Physiological Responses to Temperature in the Horned Lizards, *Phrynosoma cornutum* and *Phrynosoma douglassii*. *Copeia* 1971:498-504.
- Scott, N. 2005. Desert horned lizard (*Phrynosoma platyrhinos*) locomotor performance: the influence of cheatgrass (*Bromus tectorum*). *The Southwestern Naturalist* 50:17-23.
- Seebacher, F. y R. Shine. 2006. Evaluating thermoregulation in reptiles: the fallacy of the inappropriately applied method. *Physiological and Biochemical Zoology* 77:688-695.
- Shine, R. y M. Kearney. 2001. Field studies of reptile thermoregulation: how well do physical models predict operative temperatures? *Functional Ecology* 15:282-288.
- SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. 2011. IBM Corp. Armonk, NY
- Stark, R. C., S. F. Fox y D. M. Leslie. 2005. Male Texas Horned Lizards increase daily movements and area covered in spring: A mate searching strategy? *Journal of Herpetology* 39: 169-173.
- Stevenson, R. 1985. The relative importance of behavioral and physiological adjustments controlling body temperature in terrestrial ectotherms. *The American Naturalist* 126:362-386.
- Tattersall, G. J., V. Cadena y M. C. Skinner. 2006. Respiratory cooling and thermoregulatory coupling in reptile. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 154:302-318.

- Whiting, M., J. R. Dixon y R. Murray. 1993. Spatial distribution of a population of Texas horned lizards (*Phrynosoma cornutum*: Phrynosomatidae) relative to habitat and prey. *The Southwestern Naturalist* 38:150-154.
- 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.

XI. APÉNDICES



Apéndice 1. Modelo sobre regulación de temperatura en la lagartija cornuda (*Phrynosoma sp.*). Las flechas continuas significan la ganancia de calor y las flechas punteadas la pérdida de calor

Apéndice 2. Información registrada en los muestreos de *Phrynosoma solare* para este estudio, Biometrías y temperaturas.

Lugar	Fecha	Sexo	Hora	LHC (mm)	LCC(mm)	Peso (g)	Coe. condición	T_c	T_s	T_a
sitio1	30-abr	Hembra	08:20	54.7	27.08	12.5	0.2285192	35.6	31.5	28.4
sitio2	11-jun	Hembra	19:05	84.49	28.52	30	0.35507161	35	37	34
sitio2	11-jun	Hembra	19:06	48.22	21.02	7.5	0.15553712	34.7	37	34
sitio1	12-jun	Hembra	10:30	57.47	20.49	7	0.12180268	38.7	37.5	35
sitio1	12-jun	Hembra	11:20	62.2	24.95	10.5	0.16881029	38	37.5	36.5
sitio2	20-jun	Hembra	18:50	55.85	22.21	8.5	0.15219338	34.3	37.8	33.5
sitio2	20-jun	Hembra	19:06	89.36	17.66	43.5	0.48679499	35.2	37.2	32.8
sitio2	29-jun	Hembra	18:56	65.31	26.21	15	0.22967386	38.5	40.5	36.5
sitio2	29-jun	Hembra	19:23	44.57	19.42	5.5	0.12340139	36.2	39.8	36.3
sitio2	29-jun	Hembra	19:33	86.8	26.86	31.5	0.36290323	36.6	36.5	35.9
sitio2	29-jun	Hembra	19:53	61.81	27.48	15	0.24267918	34.8	39	35
sitio2	29-jun	Hembra	20:02	89.4	32.03	44.5	0.49776286	36.1	36.6	33.9
sitio2	30-jun	Hembra	18:43	56.15	24.23	10	0.17809439	40.2	43.3	40.6
sitio2	06-jul	Hembra	06:29	80.74	34.11	40	0.49541739	31.1	29	29.5
sitio2	06-jul	Hembra	07:06	83.04	28.53	32	0.38535645	33.8	28.9	26.6
sitio2	06-jul	Macho	08:03	82.06	42.11	35.5	0.43261029	36.3	31.4	30.4
sitio2	06-jul	Hembra	08:12	93.39	34.61	45	0.48185031	37.5	29.3	26.1
sitio2	07-jul	Hembra	07:36	59.31	29.13	14	0.23604788	33.2	32.1	29
sitio2	07-jul	Macho	07:50	86.23	47.28	35.5	0.41168967	35.5	30.6	31.2
sitio2	07-jul	Macho	08:07	80.87	43.98	34.8	0.43032027	34.8	33.1	29.9
sitio1	09-jul	Hembra	18:01	101.23	43.69	68	0.67173763	38	32.7	32.9
sitio1	09-jul	Hembra	18:36	82.34	34.12	26	0.31576391	39.2	33.3	31.7
sitio1	09-jul	Macho	19:21	87.75	29.37	43	0.49002849	35.5	35	34.5
sitio1	09-jul	Hembra	19:21	88.6	39.6	40	0.45146727	35.9	35	34.5
sitio1	09-jul	Hembra	19:32	73.58	25.17	21	0.28540364	36.8	37	34.7
sitio1	09-jul	Hembra	19:42	89.9	35.81	36.5	0.40600667	34.9	34.5	34.2
sitio1	10-jul	Macho	19:18	89.15	51.58	47.5	0.53280987	34.3	31.1	29
sitio1	10-jul	Hembra	19:43	80.46	30.63	23	0.28585633	34	29.7	27.9
sitio1	10-jul	Hembra	19:57			29.5		35.7	32.8	31
sitio1	10-jul	Macho	17:29	87.18	49.7	33	0.37852719	36.6	33.6	32.8
sitio1	11-jul	Macho	18:57	83.42	39.3	37.5	0.44953249	38.8	35.5	34.7
sitio1	11-jul	Macho	19:15	67.06	31.85	18	0.26841634	34.9	34.8	31.7
sitio2	12-ago	Hembra	07:56	80.54	35.01	34	0.42215048	36.5	31	30.1
sitio1	14-ago	Macho	08:23	76.49	36.61	20.5	0.26800889	38.9	40	35.1
sitio1	14-ago	Macho	09:40	77.75	40.41	30	0.38585209	41.5	46.6	30
sitio2	18-ago	Hembra	18:35	94.86	32.47	48.5	0.51127978	38	37.3	35.4
sitio2	23-ago	Macho	19:12	90.16	28.32	37.5	0.41592724	37.2	35.5	33.8
sitio2	23-ago	Hembra	19:20	90.79	47.12	34.5	0.3799978	36.4	35.3	34.4

NOTA en una fila donde esta registrada una Hembra capturada el 10 de julio faltan datos, esto es debido a que el espécimen escapo cuando se le estaban tomando biometrías

Apéndice 3. Información generada para la calibración del modelo de cobre utilizado en este estudio.

Hora	Hora digital	Temperatura (°C) de <i>Phrynosoma</i>	Temperatura (°C) del modelo de cobre
06:00	6	41.7	43.1
06:03	6.05	43.2	44.8
06:06	6.1	43.6	44
06:09	6.15	44.2	44.9
06:12	6.2	44.5	44.8
06:15	6.25	44.5	43.6
06:18	6.3	44.5	44.2
06:21	6.35	44.5	44.1
06:24	6.4	44.4	44.6
06:27	6.45	44.1	43.2
06:30	6.5	43.5	42.2
06:33	6.55	43.6	42.4
06:36	6.6	43.3	42.3
06:39	6.65	43	41.4
06:42	6.7	42.7	41
06:45	6.75	42.4	41.1
06:48	6.8	42.1	41.1
06:51	6.85	41.8	40.9
06:54	6.9	41.5	40.5
06:57	6.95	41.1	39.9
07:00	7	40.8	39.6
07:03	7.05	40.4	39.4
07:06	7.1	40.2	39.2
07:09	7.15	39.8	38.9
07:12	7.2	39.6	38.7
07:15	7.25	39.3	38.6
07:18	7.3	39.1	38.5
07:21	7.35	38.9	38.3
07:24	7.4	38.7	38.3
07:27	7.45	38.5	38.1
07:30	7.5	38.4	37.9
07:33	7.55	38.2	37.9
07:36	7.6	38	37.7
07:39	7.65	37.9	37.8
07:42	7.7	37.8	37.5
07:45	7.75	37.6	37.4
07:48	7.8	37.5	37.3
07:51	7.85	37.4	37.3
07:54	7.9	37.3	37.3

Apéndice 4. Registros de la medición de las temperaturas (°C) en los modelos de cobre para cada sitio de muestreo

Sitio 1

Hora	cobre 1	cobre 2	cobre 3	cobre 4	cobre 5	cobre 6	cobre 7	cobre 8	cobre 9
06:23	33.9	33.6	34.5	34.2	32.5	30.5	32.5	33.3	33.3
07:10	38.5	37.1	38.3	38	35.3	31.9	34.3	38.6	34.8
08:10	44.2	44.3	41.5	43.7	40.2	33.3	44	44.2	38.2
09:10	48.9	53.2	44.3	46.7	42.6	35.2	46.8	46.4	40.5
10:10	50.4	61.1	48.8	50.9	46	39.5	50.2	60.2	43.6
11:10	58.3	64.3	45	53.6	48.5	41.1	51.5	62.6	45.7
12:10	59	66.3	49	58.7	52.1	45.7	53.4	64.8	48.5
13:10	54.3	63	47.5	56.7	54.8	46.9	52.2	63.3	46.6
14:10	51.5	57.2	46.9	50.4	46	46	48.8	53.7	45.3
15:10	49.7	55.1	47.9	55	48.2	45.8	52.5	52.5	46
16:10	50.5	49.4	44	46.6	42.4	42	43.9	45.9	42
16:55	48.7	48	43.1	46	41.9	42	43.6	44.9	41.7

Sitio 2

Hora	cobre 1	cobre 2	cobre 3	cobre 4	cobre 5	cobre 6	cobre 7	cobre 8	cobre 9
05:25	27.8	28.6	29.9	29.8	30.6	30.5	31.2	30.3	30.5
06:25	29	29.5	31.6	31.3	33.2	31.8	32.2	32.6	34.2
07:25	32.2	32.7	34.1	38.6	36	34.4	38.6	34.9	39.5
08:25	34.4	41.8	36.3	40.5	40.6	37	46.1	37.8	47
09:25	38.5	46.8	39.2	55	47.5	41.3	49	41.5	50.4
10:25	52.3	54	42.3	55.3	52.8	46.6	62	44.8	58
11:25	62	62.9	44.8	63.5	55.7	50.5	60	49.1	52
12:25	64	67	48.8	69	58.9	56	64	55.6	52.1
13:25	65.3	62	48.9		60	56	68.8	60	51.5
14:25	66.7	59.8	51.6		55	58.1	56	60.2	51.2
15:25	59.7	56.3	52.7		51.3	50	51	56.4	49.6
16:25	57	51.9	51		49.2	48	46.8	52.9	46.4
17:25	49.1	46.6	48		46.9	46.6	44.6	49	45.6
18:25	42.6	42.5	42.8		43.6	43.3	43.2	45.1	43.2

NOTA en la tabla del Sitio 2 faltan datos en el cobre4 después de las 12:25, esto se debe a que el día del experimento alguien se robo el cobre

Apéndice 5. Datos de las mediciones de las temperaturas registradas en la caja con gradiente de temperatura para calcular el intervalo de temperatura T_{sel}

T_{sel}	T_c registrada		
		37.3	38.4
	25.5	37.3	38.5
	29.5	37.3	38.5
	29.7	37.4	38.5
	32.4	37.4	38.6
	33	37.4	38.6
	33.2	37.5	valor 75% 38.6
	33.5	37.5	38.6
	33.7	37.5	38.7
	33.9	37.6	38.7
	34.8	37.6	38.7
	35	37.6	38.7
	35.1	37.7	38.8
	35.4	37.8	38.8
	35.5	37.8	38.9
	35.5	37.8	39
	35.5	37.9	39
	35.6	37.9	39
	36.2	37.9	39
	36.2	37.9	39
	36.3	37.9	39.1
	36.3	38	39.2
	36.4	38	39.2
	36.4	38	39.2
	36.5	38	39.3
	36.5	38	39.3
	36.6	38	39.4
	36.6	38.1	39.5
valor 25%	36.6	38.1	39.6
	36.6	38.1	39.6
	36.8	38.2	39.8
	36.8	38.2	39.9
	36.9	38.2	40.5
	36.9	38.2	40.6
	37	38.2	40.6
	37	38.3	
	37	38.3	
	37.2	38.3	
	37.2	38.4	

Apéndice 6. Datos de la diferencia entre T_c con respecto al intervalo de T_{sel} para calcula db

T_c	T_{sel}		Db
	lower	Upper	
31.1	36.6	38.6	5.5
33.2	36.6	38.6	3.4
33.8	36.6	38.6	2.8
34	36.6	38.6	2.6
34.3	36.6	38.6	2.3
34.3	36.6	38.6	2.3
34.7	36.6	38.6	1.9
34.8	36.6	38.6	1.8
34.8	36.6	38.6	1.8
34.9	36.6	38.6	1.7
34.9	36.6	38.6	1.7
35	36.6	38.6	1.6
35.2	36.6	38.6	1.4
35.5	36.6	38.6	1.1
35.5	36.6	38.6	1.1
35.6	36.6	38.6	1
35.7	36.6	38.6	0.9
35.9	36.6	38.6	0.7
36.1	36.6	38.6	0.5
36.2	36.6	38.6	0.4
36.3	36.6	38.6	0.3
36.4	36.6	38.6	0.2
36.5	36.6	38.6	0.1
36.6	36.6	38.6	0
36.6	36.6	38.6	0
36.8	36.6	38.6	0
37.2	36.6	38.6	0
37.5	36.6	38.6	0
38	36.6	38.6	0
38	36.6	38.6	0
38	36.6	38.6	0
38.5	36.6	38.6	0
38.7	36.6	38.6	0.1
38.8	36.6	38.6	0.2
38.9	36.6	38.6	0.3
39.2	36.6	38.6	0.6
40.2	36.6	38.6	1.6
41.5	36.6	38.6	2.9

Apéndice 7. Datos de la diferencia entre T_0 con respecto al intervalo de T_{sel} para calcular de

T_0	T_{sel}		de				
	lower	Upper					
27.8	36.6	38.6	8.8				
28.6	36.6	38.6	8.0				
29.0	36.6	38.6	7.6				
29.5	36.6	38.6	7.1				
29.8	36.6	38.6	6.8				
29.9	36.6	38.6	6.7				
30.3	36.6	38.6	6.3				
30.5	36.6	38.6	6.1				
30.5	36.6	38.6	6.1				
30.5	36.6	38.6	6.1				
30.6	36.6	38.6	6.0				
31.2	36.6	38.6	5.4				
31.3	36.6	38.6	5.3				
31.6	36.6	38.6	5.0				
31.8	36.6	38.6	4.8				
31.9	36.6	38.6	4.7				
32.2	36.6	38.6	4.4				
32.2	36.6	38.6	4.4				
32.5	36.6	38.6	4.1				
32.5	36.6	38.6	4.1				
32.6	36.6	38.6	4				
32.7	36.6	38.6	3.9				
33.2	36.6	38.6	3.4				
33.3	36.6	38.6	3.3				
33.3	36.6	38.6	3.3				
33.3	36.6	38.6	3.3				
33.6	36.6	38.6	3.0				
33.9	36.6	38.6	2.7				
34.1	36.6	38.6	2.5				
34.2	36.6	38.6	2.4				
34.2	36.6	38.6	2.4				
34.3	36.6	38.6	2.3				
34.4	36.6	38.6	2.2				
34.4	36.6	38.6	2.2				
34.5	36.6	38.6	2.1				
34.8	36.6	38.6	1.8				
34.9	36.6	38.6	1.7				
35.2	36.6	38.6	1.4				
35.3	36.6	38.6	1.3				
36.0	36.6	38.6	0.6				
36.3	36.6	38.6	0.3				
37.0	36.6	38.6	0				
37.1	36.6	38.6	0				
37.8	36.6	38.6	0				
38.0	36.6	38.6	0				
38.2	36.6	38.6	0				
38.3	36.6	38.6	0				
38.5	36.6	38.6	0				
38.5	36.6	38.6	0				
38.6	36.6	38.6	0				
38.6	36.6	38.6	0				
38.6	36.6	38.6	0				
39.2	36.6	38.6	0.6				
39.5	36.6	38.6	0.9				
39.5	36.6	38.6	0.9				
40.2	36.6	38.6	1.6				
40.5	36.6	38.6	1.9				
40.5	36.6	38.6	1.9				
40.6	36.6	38.6	2.0				
41.1	36.6	38.6	2.5				
41.3	36.6	38.6	2.7				
41.5	36.6	38.6	2.9				
41.5	36.6	38.6	2.9				
41.7	36.6	38.6	3.1				
41.8	36.6	38.6	3.2				
41.9	36.6	38.6	3.3				
42.0	36.6	38.6	3.4				
42.0	36.6	38.6	3.4				
42.0	36.6	38.6	3.4				
42.3	36.6	38.6	3.7				
42.4	36.6	38.6	3.8				
42.5	36.6	38.6	3.9				
42.6	36.6	38.6	4.0				
42.6	36.6	38.6	4.0				
42.8	36.6	38.6	4.2				
43.1	36.6	38.6	4.5				
43.2	36.6	38.6	4.6				
43.2	36.6	38.6	4.6				
43.3	36.6	38.6	4.7				
43.6	36.6	38.6	5.0				
43.6	36.6	38.6	5.0				
43.6	36.6	38.6	5.0				
43.7	36.6	38.6	5.1				
43.9	36.6	38.6	5.3				
44.0	36.6	38.6	5.4				
44.0	36.6	38.6	5.4				
44.2	36.6	38.6	5.6				
44.2	36.6	38.6	5.6				
44.3	36.6	38.6	5.7				
44.3	36.6	38.6	5.7				
44.6	36.6	38.6	6.0				
44.8	36.6	38.6	6.2				
44.8	36.6	38.6	6.2				
44.9	36.6	38.6	6.3				
45.0	36.6	38.6	6.4				
45.1	36.6	38.6	6.5				
45.3	36.6	38.6	6.7				
45.6	36.6	38.6	7.0				
45.7	36.6	38.6	7.1				
45.7	36.6	38.6	7.1				
45.8	36.6	38.6	7.2				
45.9	36.6	38.6	7.3				
46.0	36.6	38.6	7.4				
46.0	36.6	38.6	7.4				
46.0	36.6	38.6	7.4				
46.0	36.6	38.6	7.4				
46.0	36.6	38.6	7.4				
46.0	36.6	38.6	7.4				
46.1	36.6	38.6	7.5				
46.4	36.6	38.6	7.8				
46.4	36.6	38.6	7.8				
46.6	36.6	38.6	8.0				
46.6	36.6	38.6	8.0				
46.6	36.6	38.6	8.0				
46.6	36.6	38.6	8.0				
46.6	36.6	38.6	8.0				
46.6	36.6	38.6	8.0				
46.7	36.6	38.6	8.1				
46.8	36.6	38.6	8.2				
46.8	36.6	38.6	8.2				
46.8	36.6	38.6	8.2				
46.9	36.6	38.6	8.3				
46.9	36.6	38.6	8.3				
46.9	36.6	38.6	8.3				
47.0	36.6	38.6	8.4				
47.5	36.6	38.6	8.9				
47.5	36.6	38.6	8.9				
47.9	36.6	38.6	9.3				
48.0	36.6	38.6	9.4				
48.0	36.6	38.6	9.4				
48.0	36.6	38.6	9.4				
48.2	36.6	38.6	9.6				
48.5	36.6	38.6	9.9				
48.5	36.6	38.6	9.9				
48.7	36.6	38.6	10.1				
48.8	36.6	38.6	10.2				
48.8	36.6	38.6	10.2				
48.8	36.6	38.6	10.2				
48.9	36.6	38.6	10.3				
48.9	36.6	38.6	10.3				
48.9	36.6	38.6	10.3				
49.0	36.6	38.6	10.4				

49.0	36.6	38.6	10.4	52.5	36.6	38.6	13.9	58.7	36.6	38.6	20.1
49.0	36.6	38.6	10.4	52.5	36.6	38.6	13.9	58.9	36.6	38.6	20.3
49.1	36.6	38.6	10.5	52.7	36.6	38.6	14.1	59.0	36.6	38.6	20.4
49.1	36.6	38.6	10.5	52.8	36.6	38.6	14.2	59.7	36.6	38.6	21.1
49.2	36.6	38.6	10.6	52.9	36.6	38.6	14.3	59.8	36.6	38.6	21.2
49.4	36.6	38.6	10.8	53.2	36.6	38.6	14.6	60.0	36.6	38.6	21.4
49.6	36.6	38.6	11.0	53.4	36.6	38.6	14.8	60.0	36.6	38.6	21.4
49.7	36.6	38.6	11.1	53.6	36.6	38.6	15.0	60.0	36.6	38.6	21.4
50.0	36.6	38.6	11.4	53.7	36.6	38.6	15.1	60.2	36.6	38.6	21.6
50.2	36.6	38.6	11.6	54.0	36.6	38.6	15.4	60.2	36.6	38.6	21.6
50.4	36.6	38.6	11.8	54.3	36.6	38.6	15.7	61.1	36.6	38.6	22.5
50.4	36.6	38.6	11.8	54.8	36.6	38.6	16.2	62.0	36.6	38.6	23.4
50.4	36.6	38.6	11.8	55.0	36.6	38.6	16.4	62.0	36.6	38.6	23.4
50.5	36.6	38.6	11.9	55.0	36.6	38.6	16.4	62.0	36.6	38.6	23.4
50.5	36.6	38.6	11.9	55.0	36.6	38.6	16.4	62.6	36.6	38.6	24.0
50.9	36.6	38.6	12.3	55.1	36.6	38.6	16.5	62.9	36.6	38.6	24.3
51.0	36.6	38.6	12.4	55.3	36.6	38.6	16.7	63.0	36.6	38.6	24.4
51.0	36.6	38.6	12.4	55.6	36.6	38.6	17.0	63.3	36.6	38.6	24.7
51.2	36.6	38.6	12.6	55.7	36.6	38.6	17.1	63.5	36.6	38.6	24.9
51.3	36.6	38.6	12.7	56.0	36.6	38.6	17.4	64.0	36.6	38.6	25.4
51.5	36.6	38.6	12.9	56.0	36.6	38.6	17.4	64.0	36.6	38.6	25.4
51.5	36.6	38.6	12.9	56.0	36.6	38.6	17.4	64.3	36.6	38.6	25.7
51.5	36.6	38.6	12.9	56.3	36.6	38.6	17.7	64.8	36.6	38.6	26.2
51.6	36.6	38.6	13.0	56.4	36.6	38.6	17.8	65.3	36.6	38.6	26.7
51.9	36.6	38.6	13.3	56.7	36.6	38.6	18.1	66.3	36.6	38.6	27.7
52.0	36.6	38.6	13.4	57.0	36.6	38.6	18.4	66.7	36.6	38.6	28.1
52.1	36.6	38.6	13.5	57.2	36.6	38.6	18.6	67.0	36.6	38.6	28.4
52.1	36.6	38.6	13.5	58.0	36.6	38.6	19.4	68.8	36.6	38.6	30.2
52.2	36.6	38.6	13.6	58.1	36.6	38.6	19.5	69.0	36.6	38.6	30.4
52.3	36.6	38.6	13.7	58.3	36.6	38.6	19.7				

Apéndice 8. Información para comparar la eficiencia con el peso, LHC y el coeficiente de condición.

Fecha	Sexo	LHC	Peso	Coe. condición	T_c	T_{sel}	db	Eficiencia
30-abr	Hembra	54.7	12.5	0.2285192	36	36.6	1	0.89995261
12-jun	Hembra	57.47	7	0.12180268	39	38.6	0.1	0.98999526
12-jun	Hembra	62.2	10.5	0.16881029	38	0	0	1
09-jul	Hembra	101.2	68	0.67173763	38	0	0	1
09-jul	Hembra	82.34	26	0.31576391	39	38.6	0.6	0.93997157
09-jul	Macho	87.75	43	0.49002849	36	36.6	1.1	0.88994787
09-jul	Hembra	88.6	40	0.45146727	36	36.6	0.7	0.92996683
09-jul	Hembra	73.58	21	0.28540364	37	0	0	1
09-jul	Hembra	89.9	36.5	0.40600667	35	36.6	1.7	0.82991944
10-jul	Macho	89.15	47.5	0.53280987	34	36.6	2.3	0.769891
10-jul	Hembra	80.46	23	0.28585633	34	36.6	2.6	0.73987678
10-jul	Hembra	0	29.5	0	36	36.6	0.9	0.90995735
10-jul	Macho	87.18	33	0.37852719	37	0	0	1
11-jul	Macho	83.42	37.5	0.44953249	39	38.6	0.2	0.97999052
11-jul	Macho	67.06	18	0.26841634	35	36.6	1.7	0.82991944
14-ago	Macho	76.49	20.5	0.26800889	39	38.6	0.3	0.96998578
14-ago	Macho	77.75	30	0.38585209	42	38.6	2.9	0.70986257
11-jun	Hembra	84.49	30	0.35507161	35	36.6	1.6	0.83992417
11-jun	Hembra	48.22	7.5	0.15553712	35	36.6	1.9	0.80990996
20-jun	Hembra	55.85	8.5	0.15219338	34	36.6	2.3	0.769891
20-jun	Hembra	89.36	43.5	0.48679499	35	36.6	1.4	0.85993365
29-jun	Hembra	65.31	15	0.22967386	39	0	0	1
29-jun	Hembra	44.57	5.5	0.12340139	36	36.6	0.4	0.95998104
29-jun	Hembra	86.8	31.5	0.36290323	37	0	0	1
29-jun	Hembra	61.81	15	0.24267918	35	36.6	1.8	0.8199147
29-jun	Hembra	89.4	44.5	0.49776286	36	36.6	0.5	0.9499763
30-jun	Hembra	56.15	10	0.17809439	40	38.6	1.6	0.83992417
06-jul	Hembra	80.74	40	0.49541739	31	36.6	5.5	0.44973935
06-jul	Hembra	83.04	32	0.38535646	34	36.6	2.8	0.71986731
06-jul	Macho	82.06	35.5	0.43261029	36	36.6	0.3	0.96998578
06-jul	Hembra	93.39	45	0.48185031	38	0	0	1
07-jul	Hembra	59.31	14	0.23604788	33	36.6	3.4	0.65983887
07-jul	Macho	86.23	35.5	0.41168967	36	36.6	1.1	0.88994787
07-jul	Macho	80.87	34.8	0.43032027	35	36.6	1.8	0.8199147
12-ago	Hembra	80.54	34	0.42215048	37	36.6	0.1	0.98999526
18-ago	Hembra	94.86	48.5	0.51127978	38	0	0	1
23-ago	Macho	90.16	37.5	0.41592724	37	0	0	1
23-ago	Hembra	90.79	34.5	0.3799978	36	36.6	0.2	0.97999052