



TERMORREGULACIÓN DE DOS ESPECIES SIMPÁTRICAS DE
SAURIOS DEL GÉNERO *SCELOPORUS* EN EL DESIERTO
CHIHUAHUENSE

TESIS QUE PRESENTA EL BIOL. SERGIO RUIZ
PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DIRECTOR DE TESIS: DR. HÉCTOR GADSDEN ESPARZA


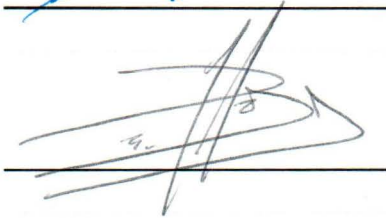



Xalapa, Veracruz, México septiembre de 2013



Aprobación final del documento de tesis de grado:

Título de la tesis:

"Termorregulación de Dos Especies Simpátricas de Saurios del Género *Sceloporus* en el Desierto Chihuahuense"



	Nombre	Firma
Director	Dr. Héctor Gadsden Esparza	
Comité Tutorial	Dr. Eduardo O. Pineda Arredondo	
	Dr. José Gamaliel Castañeda Gaytán	
Jurado	Dra. Sonia Antonieta Gallina Tessaro	
	Dra. Ana Bertha Gatica Colima	



Aprobación final del documento de tesis de grado:

Título de la tesis:

"Termorregulación de Dos Especies Simpátricas de Saurios del Género *Sceloporus* en el Desierto Chihuahuense"

	Nombre	Firma
Director	Dr. Héctor Gadsden Esparza	<hr/>
Comité Tutorial	Dr. Eduardo O. Pineda Arredondo	<hr/>
	Dr. José Gamaliel Castañeda Gaytán	 <hr/>
Jurado	Dra. Sonia Antonieta Gallina Tessaro	<hr/>
	Dra. Ana Bertha Gatica Colima	 <hr/>



Aprobación final del documento de tesis de grado:

Título de la tesis:

"Termorregulación de Dos Especies Simpátricas de Saurios del Género *Sceloporus* en el Desierto Chihuahuense"

Nombre

Firma

Director Dr. Héctor Gadsden Esparza

Comité Tutorial Dr. Eduardo O. Pineda Arredondo

Dr. José Gamaliel Castañeda Gaytán

Jurado Dra. Sonia Antonieta Gallina Tessaro

Dra. Ana Bertha Gatica Colima

Ana Bertha Gatica Colima

DECLARACIÓN

Excepto cuando es explícitamente indicado en el texto, el trabajo de investigación contenido en esta tesis fue efectuado por el Biol. Sergio Ruiz como estudiante de la carrera de Maestro en Ciencias entre septiembre de 2011 y septiembre de 2013, bajo la supervisión del Dr. Héctor Gadsden Esparza.

Las investigaciones reportadas en esta tesis no han sido utilizadas anteriormente para obtener otros grados académicos, ni serán utilizadas para tales fines en el futuro.

Candidato: Biol. Sergio Ruiz



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. Ruiz', written over a horizontal line.

Director de tesis: Dr. Héctor Gadsden Esparza



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Gadsden Esparza', written over a horizontal line.

RECONOCIMIENTOS

A mi director de tesis Dr. Héctor Gadsden, por haberme apoyado siempre en todos los aspectos para llevar a cabo este trabajo.

A mi comité Tutorial: Dr. Gamaliel Castañeda y el Dr. Eduardo Pineda, por su invaluable ayuda y consejos para el desarrollo de este trabajo de tesis.

A la Dra. Sonia Gallina y Dra. Ana Gatica por su participación como jurados de tesis y por sus comentarios y sugerencias en la redacción final de la tesis.

Muchas gracias a toda la Secretaria de Posgrado por su amable apoyo a lo largo de mi estancia como estudiante de maestría en el INECOL: Dr. Trevor Williams, Bertha Ulloa, Emma Gómez, Mónica Enríques, Enrique Salinas, e Ingrid Aguilar.

A todos mis compañeros del posgrado y a todos los integrantes del INECOL en general

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para desarrollar mis estudios de Maestría en el posgrado del Instituto de Ecología, A.C.(Becario No.262544)

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres El Chavo y Mago; a mis hermanos Beto, Katia, Adrienne, y Fernando; a mi magnifica esposa Brenda; y a toda la gente que dedica su tiempo al estudio de nuestro planeta Tierra.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Descripción del área de estudio y de las especies	4
1.2. Evaluación de la termorregulación en reptiles	6
1.3. Utilización de iButtons para estimar la temperatura interna en lagartijas	9
1.4. Biología térmica de las especies de estudio	10
2. OBJETIVO GENERAL	12
2.1. Objetivos particulares.....	12
2.2. Hipótesis.....	12
3. MÉTODOS.....	13
3.1. Evaluación de los índices de Eficiencia de la termorregulación (E) y (d_e-d_b)	13
3.2. Cálculo de horas de restricción térmica (H_r).....	16
3.3. Calibración de iButtons para estimar T_b	17
3.4. Análisis estadísticos	18
4. RESULTADOS	20
4.1. Temperaturas preferidas (T_p).....	20
4.2. Temperaturas operativas (T_e)	20
4.3. Temperaturas de lagartijas en campo (T_b)	21
4.4. Índices de calidad térmica del hábitat (d_e) y precisión en la termorregulación (d_b).....	22
4.5. Índices de eficiencia en la termorregulación (E) y (d_e-d_b).....	24
4.6. Horas de restricción térmica (H_r)	26
4.7. Uso de ibuttons para estimar temperaturas corporales de lagartijas, y calibración de Hobos	28
5. DISCUSIÓN	32
5.1. Índices de eficiencia en la termorregulación (E) y (d_e-d_b)	32

5.2. Horas de restricción térmica (<i>Hr</i>)	34
5.3. Uso de iButtons para estimar temperatura interna en lagartijas	35
6. CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	4
Figura 2. Especies de estudio.....	6
Figura 3. Modelos nulos de PVC.....	14
Figura 4. Gradiente térmico para lagartijas.....	15
Figura 5. Reconstrucción de iButtons.....	18
Figura 6. Distribución de las temperaturas operativas.....	22
Figura 7. Prueba de significancia de Bootstrap para índice de precisión.....	23
Figura 8. Prueba de significancia de Bootstrap para índice de eficiencia.....	24
Figura 9. Horas de restricción térmica.....	27
Figura 10. Modelos de regresión temperatura cloacal vs temperatura iButton.....	29
Figura 11. de regresión temperatura cloacal vs temperatura modelo nulo Hobo.....	30
Figura 12. Efecto de técnica usada dentro del gradiente térmico.....	31
Tabla 1. Símbolos e índices utilizados.....	8
Tabla 2. Resumen de resultados de índices de termorregulación.....	24

Resumen

Diversos estudios han confirmado ya el efecto negativo del cambio climático sobre poblaciones de reptiles en todo el mundo. Se ha pronosticado que las especies que habitan en zonas áridas con altas temperaturas serán las más afectadas. Las lagartijas del género *Sceloporus* son animales ectotermos que regulan su temperatura activamente realizando movimientos entre microhábitats térmicos. La disponibilidad en tiempo y espacio de temperaturas adecuadas en el hábitat puede aumentar el tiempo dedicado a termorregular y hacer que se dedique menor tiempo a otras actividades vitales como la búsqueda de alimento, evasión de depredadores, y la reproducción. Un estudio reciente, ha mostrado cómo el cambio climático ha comenzado a extirpar poblaciones de lagartijas debido a un aumento de horas de restricción térmica de la actividad, especialmente si este aumento se presenta durante la temporada reproductora de la especie. Debido a la importancia de la ecología térmica en lacertilios y otros ectotermos, se han propuesto varios modelos e índices para evaluar la termorregulación. En el presente proyecto se evaluó durante la temporada seca (junio) y la posthúmeda (octubre) de 2012, la eficiencia de la termorregulación (E), la calidad térmica del hábitat (d_e), la precisión en la termorregulación (d_b), y las horas de restricción térmica (H_r) de dos especies de lagartijas que habitan zonas rocosas del Desierto Chihuahuense: *Sceloporus jarrovii* y *Sceloporus poinsettii*. Además se evaluó una nueva técnica para estimar temperaturas corporales de lagartijas mediante el uso de pequeños Dataloggers (iButtons). Nuestros resultados muestran que para ambas especies la calidad térmica del hábitat (d_e) fue significativamente menor en la temporada posthúmeda que en la seca, con temperaturas más frías en la primera. *Sceloporus poinsettii* mostró una eficiencia en la termorregulación (E) similar en ambas temporadas. En cambio *Sceloporus jarrovii* fue significativamente más eficiente durante la temporada posthúmeda. Se observó un número bajo o nulo de H_r durante la temporada posthúmeda (época reproductora), sin embargo, durante la temporada seca el número de horas de restricción (H_r) fue muy alto para ambas especies durante la temporada seca, lo cual puede repercutir directamente en las condiciones físicas que tengan las lagartijas durante la temporada reproductora. La nueva técnica para estimar temperaturas de lagartijas mediante el uso de iButtons, mostró ser viable y recomendable para futuros estudios de ecología térmica.

1. Introducción

La importancia biológica de la termorregulación en los reptiles ha sido reconocida desde el trabajo pionero de Cowles & Bogert (1944), donde se demostró por primera vez que éstos animales son capaces de mantener temperaturas corporales relativamente altas y constantes a lo largo del día. Las ventajas fisiológicas de mantener temperaturas corporales dentro de un rango estrecho han sido documentadas en éstos animales (Bennett, 1980; Angilletta *et al.*, 2002). Al ser animales ectotermos, los reptiles llevan a cabo la termorregulación principalmente mediante ajustes conductuales, por ejemplo: movimientos entre los parches térmicos que ofrece su hábitat (Cowles & Bogert, 1944). Dicha conducta afecta virtualmente a todos los aspectos de su biología, haciendo que los beneficios de mantener una temperatura óptima fisiológica tenga costos asociados, como lo son la energía invertida en la conducta de termorregulación, la exposición a depredadores y la interferencia con otras actividades fundamentales como la alimentación y la reproducción (Huey & Slatkin, 1976).

Un reciente estudio realizado por Kearney *et al.* (2009), evaluó el papel que desempeñaría la capacidad de los animales ectotermos de ajustar su conducta de termorregulación ante un aumento en la temperatura global. Sus resultados muestran que actualmente para una gran porción del planeta, el esfuerzo de la termorregulación en ectotermos diurnos terrestres, está encaminado a evadir temperaturas demasiado altas, y se proyecta que un aumento promedio de 3°C en la temperatura del aire ocasionaría que en un 18% de la superficie terrestre las temperaturas corporales de pequeños ectotermos a la sombra rebasarían los 40°C, temperaturas que de acuerdo al trabajo de Kour & Hutchison (1970) resultan deletéreas para muchas especies de lacértidos.

Por otro lado, Sinervo *et al.* (2010), realizaron recientemente un estudio que muestra cómo el cambio climático global ha comenzado a afectar a diversas poblaciones de lagartijas por la modificación de los nichos térmicos en su hábitat. En dicho trabajo se encontró una relación significativa entre el aumento de la temperatura máxima durante la época de reproducción de poblaciones de lagartijas y su extinción local. Se observó que en los sitios con extinción local de la especie, el número de horas de restricción térmica (horas del día en que las temperaturas operativas son superiores al rango de temperatura preferida de la especie) era significativamente superior que en los sitios donde persistía la especie. Mediante un modelo obtenido se pronostica la extinción del 40% de las poblaciones, y 20% de las especies en el mundo para el año 2080 ante un escenario de calentamiento global.

Muchas especies de reptiles viven en zonas desérticas, donde la prioridad de la termorregulación es la de evitar temperaturas demasiado altas, y donde la eficiencia en la termorregulación está determinada en gran medida por la disponibilidad de refugios sombreados y por ende la abundancia y estructura de la cobertura vegetal (Kearney *et al.*, 2009). Sin embargo en invierno, las temperaturas pueden ser tan bajas que restringen la actividad de los reptiles hasta cierto grado (Lemos & Smith, 2007).

En el presente estudio analizó la eficiencia de la termorregulación y las horas de restricción térmica de dos especies de saurios que habitan en simpatria en zonas rocosas del semidesierto Chihuahuense: *Sceloporus jarrovii* y *Sceloporus poinsettii*. Además se evaluó la viabilidad de una técnica reciente para inferir temperaturas corporales de lagartijas de forma automatizada. Este estudio pretende aportar información sobre la ecología térmica de estas dos especies, y de su situación de riesgo inminente ante un escenario de cambio climático global.

1.1. Descripción del área de estudio y de las especies

El área de estudio se encuentra en El Cañón de las “Piedras Encimadas” dentro de La Sierra “El Sarnoso” (Fig. 1). Se localiza al Noreste del Estado de Durango, situada en la Altiplanicie Septentrional o Llanura Boreal comprendida entre los paralelos 25° 30’47” y 25° 40’47” N y entre los meridianos 103° 35’13.5” y 103° 40’ 37” W. Limita al Norte con la sierra de Mapimí, al Sureste y al Este con la Ciudad de Gómez Palacio, Durango y al Oeste con la Sierra del Rosario.

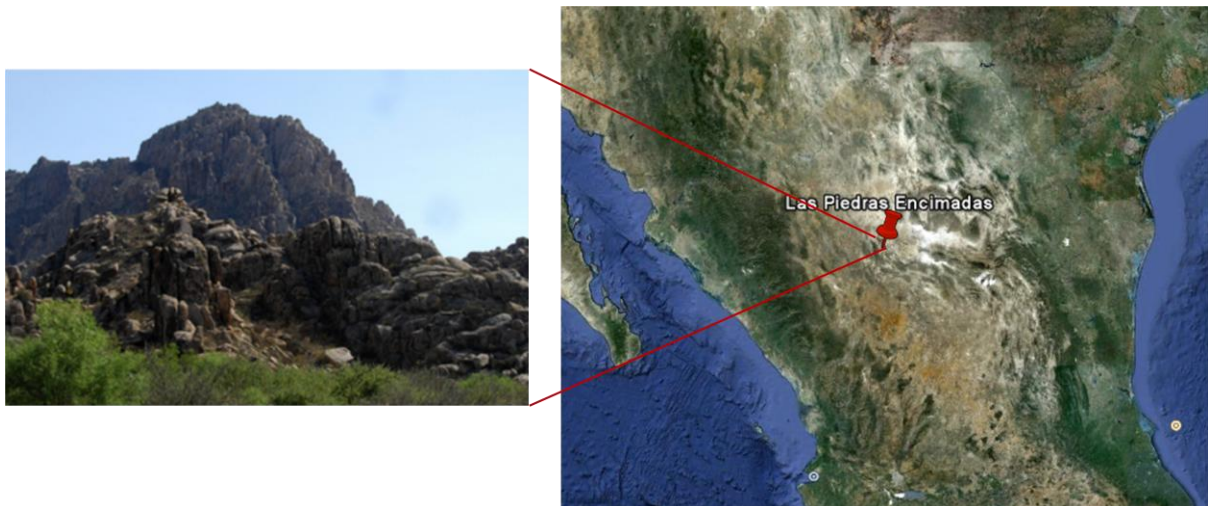


Figura 1. A la izquierda se observa un ejemplo de las formaciones rocosas dentro del área de estudio, y a la derecha, la ubicación aproximada del área de estudio dentro de Desierto Chihuahuense.

Sceloporus jarrovii (Fig.2) es una lagartija que presenta un collar negro bordeado de una tonalidad clara. Algunas presentan bandas poco visibles en la cola. La longitud hocico a cloaca (LHC) de machos es de 69.6 ± 0.8 mm, y 65.3 ± 0.6 mm en hembras (Gadsden *et al.*, 2008). Sin embargo los machos pueden llegar a tener una LHC de 97 mm y las hembras de 106 mm (Lemos & Smith, 2007). Al igual que la mayoría de los miembros de este género,

esta especie no forrajea activamente, sino que se sienta y espera a sus presas. Se alimenta casi enteramente de insectos. Ocupa bosques de montaña con rocas y grietas numerosas, a altitudes de 1,370-3,350 m. Se distribuye desde el sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México extendiéndose hacia el sur a lo largo de la Sierra Madre Occidental hasta el noreste de Sinaloa, noreste y suroeste de Durango (Lemos & Smith, 2007).

Sceloporus poinsettii (Fig. 2) presenta un amplio collar negro, completo dorsalmente y completamente bordeado por una tonalidad clara, y anillos negros brillantes en la cola. La LHC de machos es de 89.7 ± 1.2 mm, y 85.8 ± 1.3 mm en hembras (Gadsden et al., 2005). Sin embargo esta especie puede llegar a tener una LHC máxima de 137 mm (Lemos & Smith, 2007). En los machos los lados del abdomen y de la región gular son azul claros, volviéndose más oscuros con la edad. Tienen parches abdominales de color azul con bordes de color negro que se expanden hasta la ingle. En las hembras la región gular está marcada irregularmente de un color negro, pero el resto de la superficie ventral es blanca, sin marcas. Es una especie altamente saxícola que ocupa áreas con vegetación en cañones de regiones áridas y semiáridas, así como bosques de la sierra madre occidental. Son territoriales y siempre permanecen cerca de sus refugios; se alimentan asechando a sus presas cerca de sus madrigueras. Su dieta está constituida de invertebrados pequeños, principalmente de insectos. Los adultos se alimentan extensamente de flores y frutos, que pueden representar casi el 50% de su dieta (Lemos & Smith, 2007).



Sceloporus poinsettii



Sceloporus jarrovi

Figura 2. A la izquierda se observa un ejemplar de *Sceloporus poinsettii* posado sobre una roca dentro del área de estudio. A la derecha, un ejemplar de de *Sceloporus jarrovi* sobre un paredón rocoso.

1.2. Evaluación de la termorregulación en reptiles

El trabajo de Cowles & Bogert (1944), representa una de las principales base teóricas para el estudio de la termorregulación en reptiles, y en la actualidad casi la totalidad de los trabajos sobre este tema se han referido a éste trabajo. Cowels & Bogert (1944) introdujeron varios de los primeros conceptos para la evaluación de la termorregulación en reptiles. Uno de ellos es el de la “Temperatura Crítica Mínima”, definida como: Una temperatura baja tal, que cause la inhabilidad de un animal para escapar de una situación potencialmente mortal. La “Temperatura Crítica Máxima”, fue definida como: El punto de temperatura alta donde ocurre atrofia en la locomoción y por tanto inhabilidad para escapar de condiciones letales. Actualmente existen trabajos que reportan estos límites de temperatura de diversas especies de lacértidos, por ejemplo: (Brattstrom, 1965; Kour & Hutchison, 1970).

Subsecuentemente, Huey & Slatkin (1976), describen una serie de factores ambientales que representan costos para la termorregulación y que determinan la viabilidad de invertir tiempo y energía en la conducta termorregulatoria, la cual se

presenta en un continuo de estrategias distintas. En un extremo la “Termorregulación Activa”, en la cual un organismo puede mantener una temperatura constante incluso por encima de la temperatura ambiental, hasta la “Termorregulación Pasiva” (termoconformismo), en la cual un animal varía su temperatura corporal conforme a las fluctuaciones de la temperatura ambiental.

En 1993, Hertz *et al.*, elaboraron el primer protocolo para estimar cuantitativamente la eficiencia de la termorregulación (E) mediante la comparación de temperaturas corporales de organismos activos en campo (T_b) contra las temperaturas esperadas para organismos de acuerdo a la oferta térmica del ambiente (T_e). De acuerdo a Hertz *et al.* (1993), la distribución de T_e , o “Temperaturas Operativas”, puede ser obtenida mediante la elaboración de pequeños modelos, usualmente hechos con tubos de cobre o PVC, que imitan las características (forma, color, volumen etc.) del organismo de estudio, y que son dispuestos en los distintos microhábitats. Para calcular el índice de eficiencia (E), además de obtener T_b y T_e , es necesario determinar el rango de “Temperatura Preferida” (T_p), que representa el intervalo de temperaturas que los organismos obtendrían si no hubiera costos ecológicos implicados. El rango de T_p puede obtenerse mediante el registro de temperaturas corporales de individuos colocados en gradientes térmicos en laboratorio, donde éstos pueden termorregular sin factores externos que los limiten. Una vez obtenida la información anterior se puede proceder a calcular el índice de precisión en la termorregulación (d_b), y el índice de calidad térmica del hábitat (d_e), los cuales se calculan a partir de obtener el promedio de las desviaciones de T_b respecto al intervalo de T_p . Un valor alto de d_b indica poca precisión para termorregular y viceversa, y un valor alto de d_e indica poca calidad térmica en el hábitat y viceversa.

Tabla 1. Símbolos y definiciones de los índices utilizados para la evaluación de la termorregulación en ectotermos.

Símbolo	Definición
T_b	Muestra de temperaturas corporales de individuos libres en campo (típicamente colectada mediante la captura de organismos y la inserción de un termómetro en su cloaca).
T_p	Temperaturas preferidas por individuos dentro de un gradiente térmico en laboratorio (típicamente se seleccionan los datos entre el 25 y 75 percentil).
T_e	Temperaturas operativas: muestra de las temperaturas disponibles para un ectotermo en el hábitat de la especie de estudio. La muestra se obtiene mediante la colocación en distintos microhábitats, de pequeños modelos que imitan las características térmicas de la especie de estudio.
d_e	Calidad térmica del hábitat: es la desviación promedio de las temperaturas operativas respecto al intervalo de temperaturas seleccionadas en laboratorio.
d_b	Precisión en la termorregulación: es la desviación promedio de las temperaturas corporales e individuos en campo, respecto al intervalo de temperaturas T_p en laboratorio.
E	Índice de eficiencia en la termorregulación, de Hertz <i>et al.</i> (1993): $E=1-(d_b/d_e)$
d_e-d_b	Índice de eficiencia en la termorregulación, de Blouin-Demers & Weatherhead (2001):
H_r	Horas del día en las que las temperaturas operativas promedio, están por fuera de los límites del intervalo de T_p en laboratorio. Se puede dividir en $H_{r_{inf}}$ (Horas de restricción por debajo del límite inferior de T_p), $H_{r_{sup}}$ (Horas de restricción por encima del límite superior de T_p), y además también se cuantifican las $H_{r_{ok}}$ (Horas dentro de los límites de T_p).

Tal como Hertz *et al.* (1993) señalan, el protocolo solo es adecuado para pequeños ectotermos, cuya masa no tiene una inercia térmica significativa. Sin embargo Seebacher & Shine (2004), proporcionan una sencilla modificación al protocolo para corregir el error en caso de que se quiera evaluar la termorregulación en ectotermos de mayor masa.

Recientemente en su trabajo, Sinervo *et al.* (2010), implementaron un estimador que permite evaluar las horas de restricción térmica (H_r) de una determinada población de lagartijas, en base a las T_e disponibles a lo largo del día. Dicho de otra manera, las horas de restricción térmica representan a las horas del día en las que las temperaturas disponibles en el hábitat son demasiado altas, obligando a los organismos a permanecer refugiados a la sombra, o simplemente incapacitándolos para la actividad, lo cual adquiere especial

importancia en la época reproductora como mostró el trabajo de Sinervo *et al.* (2010) . Así entonces para obtener H_r es necesario calcular el número de horas en las que T_e se encuentra por arriba intervalo de T_p , determinado para cada especie de lagartija.

1.3. Utilización de iButtons para estimar la temperatura interna en lagartijas

Uno de los datos que más comúnmente se requieren dentro de un estudio de ecología térmica en reptiles, es la temperatura corporal los animales (T_b), tanto en campo como en laboratorio. La T_b tradicionalmente ha sido obtenida a partir de dos métodos principales: El primero es mediante la captura y medición de individuos en campo con diferentes tipos de termómetros, generando datos puntuales, y el segundo es mediante el uso de telemetría, lo cual genera una serie de datos semicontinuos de la variación de la T_b de los animales. El primer método tiene la desventaja de requerir un alto esfuerzo de muestreo para recabar suficientes datos que permitan observar la variación en la T_b , y el segundo método es desventajoso por ser muy costoso y por tener grandes limitantes en cuanto al alcance de los radio transmisores (Taylor *et al.*, 2004).

Desde hace ya varios años, en los estudios de ecología térmica se ha estado explorando el uso de pequeños registradores automáticos de temperatura o dataloggers, principalmente para obtener temperaturas operativas (T_e) o ambientales (Vitt & Sartorius, 1999; Paranjpe *et al.*, 2012).

Recientemente, la compañía Dallas Semiconductors (Dallas, Texas, USA), ha comenzado a manufacturar un datalogger, el Thermochron iButton (iButton en adelante), que por su pequeño tamaño (5.9 mm de ancho y 17.4 mm de diámetro) y bajo costo (aprox. \$14 por unidad), tiene el potencial de ser usado ampliamente en estudios de ecología térmica. Su precisión y otros aspectos funcionales, fue probada por Angilletta &

Krochmal (2003), con resultados que muestran un desvío menor a 0.5 °C en un rango de 5 – 50°C.

Los iButtons se han usado con éxito, implantándolos en reptiles, aves, y mamíferos (Lovegrove, 2009), sin embargo, aunque la técnica de implantar un iButton dentro de la cavidad abdominal pueda generar datos muy certeros sobre la T_b de los animales, es una técnica compleja, y que además ha mostrado tener repercusión significativa en la conducta térmica de reptiles. (Wang & Adolph, 1995).

En su trabajo, Robert & Thompson (2003), describieron una técnica para modificar un iButton, que consiste en remover la carcasa de acero inoxidable que contiene a la placa electrónica, y aplicar sobre ésta un recubrimiento de plástico en aerosol de nombre Plasti Dip® (Performix, USA), logrando así reducir el tamaño y el peso del iButton a aproximadamente 1.5 g, 14 mm de diámetro, y 3 mm de ancho. De acuerdo a Robert & Thompson (2003), los iButtons pueden ser adheridos sobre la piel de pequeños reptiles, que por su poca capacidad térmica permiten obtener un buen estimado de su temperatura interna. Sin embargo en dicho trabajo no se reporta la precisión de los iButtons para predecir la temperatura interna de los animales.

1.4. Biología térmica de las especies de estudio

De acuerdo a los primeros estudios sobre termorregulación por ejemplo: Cowels & Bogert (1944), y otros más recientes (Kearney *et al.*, 2009; Sinervo *et al.*, 2010), los reptiles que habitan en zonas desérticas están expuestos temperaturas extraordinariamente altas en comparación con los que habitan en otros ecosistemas. Es por esto que son probablemente los se encuentran en un riesgo mayor ante cualquier escenario de calentamiento global.

Las especies semidesérticas que se pretenden estudiar en este trabajo, *Sceloporus jarrovi*, y *Sceloporus poinsettii*, pertenecen a un género de saurios que al igual que muchos otros, presentan su T_b dentro de un rango estrecho, lo cual sugiere que mantener dichas temperaturas en este género representa ventajas ecológicas y/o fisiológicas (Dawson, 1975). La T_b durante el periodo de actividad en este grupo de lagartijas está generalmente entre los 34-35°C (Andrews, 1998). De acuerdo a Brattstrom (1965), la CTMin y CTMax para el género *Sceloporus* es -3.0 y 44.1°C respectivamente. En el trabajo de Andrews (1998), se reporta una T_b promedio de 34.2°C tanto para *S. jarrovi* como para *S. poinsettii* (a una elevación de 1,650 y 1,100 m respectivamente).

Tanto *S. jarrovi*, como *S. poinsettii* son especies vivíparas (Lemos & Smith, 2007). *S. jarrovi* presenta la máxima actividad reproductora en otoño, cuando se lleva a cabo el cortejo, el apareamiento, y la fertilización, seguida de la gestación invernal, para posteriormente parir durante la primavera (Ballinger, 1973; Gadsden *et al.*, 2008), El mismo patrón se presenta en *S. poinsettii* (Gadsden *et al.*, 2005). Beuchat (1986), examinó la influencia del estado reproductivo sobre la termorregulación de *S. jarrovi*, y observó que para maximizar el desarrollo embrionario, las hembras grávidas mantienen temperaturas significativamente más bajas que machos y hembras no grávidas (Beuchat, 1986).

2. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es el de analizar la ecología térmica de dos especies simpátricas de saurios que habitan zonas rocosas del Desierto Chihuahuense: *Sceloporus poinsettii* y *Sceloporus jarrovi*.

2.1. Objetivos particulares

- a) Evaluar la eficiencia de la termorregulación de ambas especies de lagartijas.
- b) Cuantificar las horas de restricción térmica para estas dos especies en el área de estudio.
- c) Evaluar la viabilidad del uso de iButtons para estimar temperatura interna en lagartijas.

2.2. Hipótesis

- a) Debido a la escases de parches térmicos adecuados para estas lagartijas y de recursos en general durante la temporada seca, se observará en ésta, una menor eficiencia en la termorregulación que en la temporada posthúmeda.
- b) Las horas de restricción térmica serán relativamente altas para ambas especies, acercándose al máximo soportable por la población.
- c) Debido a que las especies de estudio, son lagartijas pequeñas con poca inercia térmica, su termodinámica será similar a la de un iButton y por lo tanto éste será un buen estimador de la temperatura corporal de los individuos.

3. Métodos

Se realizaron dos excursiones al área de estudio, con duración de aproximadamente una semana cada una. La primer visita se realizó a principios del mes de junio de 2012 (temporada seca), y la segunda a finales del mes de octubre del mismo año (temporada posthúmeda), esta ultima corresponde con la época reproductora de ambas especies. Durante los días de muestreo se trabajó alternadamente en el Laboratorio de Herpetología de la Facultad de Biología de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

3.1. Evaluación de los índices de Eficiencia de la termorregulación (E) y (d_e-d_b)

Para evaluar el índice de E se siguió el protocolo de Hertz *et al.* (1993), para lo cual se requirió obtener temperaturas corporales de individuos activos en campo (T_b), el rango de temperaturas preferidas por las lagartijas en laboratorio (T_p), y las temperaturas operativas en el hábitat (T_e).

Para obtener las T_b , se realizaron caminatas por el área de estudio buscando lagartijas de ambas especies. Las lagartijas encontradas se capturaron por medio de la técnica de lazado, y se midió su temperatura cloacal usando un termómetro digital con sonda flexible. Las T_b fueron registradas lo más rápido posible, minimizando el contacto con el animal para reducir el intercambio de calor.

Para obtener las T_e se utilizaron modelos nulos hechos con tubos de pvc color gris, que imitan las características térmicas de las especies de estudio (Paranjpe *et al.*, 2012). A cada modelo nulo le fue insertada una sonda conectada a un datalogger HOBO® (Onset, Model U23-003), que fue programado para registrar las temperaturas cada 10 minutos a lo largo del día. Los modelos nulos (Hobos de aquí en adelante) se colocaron en el hábitat de cada especie, cuidando seleccionar los microhábitats para representar en lo posible la

oferta térmica del hábitat. En total fueron colocados 6 Hobos por temporada, durante tres a cuatro días consecutivos. Dos Hobos fueron colocados en sombra dentro de grietas, dos expuestos sobre roca, y dos dentro de vegetación (Fig. 3).



Figura 3. Colocación de un modelo nulo de PVC dentro de una grieta rocosa. En la imagen se observan dos modelos nulos (color gris) conectados a un datalogger HOBO® (Onset, Model U23-003).

Para obtener el intervalo de temperaturas preferidas (T_p), se alojaron en el laboratorio 1 día por temporada, a individuos de cada especie dentro de un gradiente térmico. Para esto se utilizó un alojamiento o caja de madera de aproximadamente 150 cm x 50 cm x 15 cm. Para crear el gradiente térmico, se colocaron bombillos eléctricos de filamento de tungsteno de 150w dentro de la caja a una altura aproximada de 50 cm, y ubicados hacia un extremo de la misma (Fig.4). La temperatura del aire dentro del laboratorio fue ajustado para que en un extremo del gradiente hubiera aproximadamente 40°C y en el otro 20°C, formando un gradiente continuo. Durante el experimento, el laboratorio se mantuvo con iluminación artificial y con luz natural que entraba por las ventanas. La temperatura de las lagartijas fue medida cada hora desde las 9:00, hasta la 18:00 horas. Para hacer comparaciones entre técnicas, a un grupo de individuos de cada especie le fue medida la temperatura de forma cloacal usando para esto el mismo

termómetro digital que se uso para registrar las T_b , y para el otro grupo se usaron iButtons adheridos a su dorso. Para verificar la temperatura ambiental dentro del gradiente térmico se utilizó un termómetro de bulbo colocado en varios puntos del mismo. Después de obtener la distribución de las T_p , se determinó el intervalo de T_p seleccionando los límites del 25 y 75 percentil de todas las medidas.



Figura 4. Gradiente térmico para obtener el intervalo de temperaturas preferidas (T_p) de las lagartijas. El gradiente consiste en un cajón de madera con carriles donde las lagartijas pueden moverse entre zonas con distintas temperaturas.

Una vez obtenidos T_b , T_e , y T_p , se procedió a calcular los índices de precisión en la termorregulación: d_b y d_e . El índice de d_b es el promedio de la desviación en número absoluto de T_b con respecto a los límites superior e inferior del rango de T_p ; el d_b promedio es el grado en que los ectotermos mantienen su T_b fuera del rango de T_p , donde valores altos de d_b implican una falta en la regulación de la temperatura (Poca precisión), mientras que valores bajos (ceranos a cero) implican alta precisión por parte del organismo para mantenerse dentro de su temperatura preferida. El índice d_e (calidad térmica del hábitat) es el promedio de la desviación en número absoluto entre la T_e y la T_p , resulta un indicador cuantitativo de la calidad térmica de un hábitat desde la perspectiva del costo de la termorregulación, valores altos indican baja calidad térmica del hábitat y

valores iguales o cercanos a cero son térmicamente ideales. Posteriormente, con los valores obtenidos de d_b y d_e se calculó el índice de eficiencia de la termorregulación (E) tal y como lo propone Hertz *et al.* (1993), con la siguiente ecuación: $[E= 1- (d_b/d_e)]$, en donde, una E igual o cercana a cero, indica organismos que no están termorregulando o que son termoconformistas, mientras que una E cercana a uno se refiere a organismos que son termorreguladores activos. Blouind-Demers & Weatherhead (2001) han argumentado ciertos problemas de calcular el índice de E como lo indica Hertz *et al.* (1993), entre estos está: la falta de poder de interpretación bilógica, ya que diferentes combinaciones de d_e y d_b pueden llevar al mismo valor de E , por esto se decidió realizar simultáneamente el cálculo de eficiencia de la termorregulación de acuerdo a Blouind-Demers & Weatherhead (2001), el cual se calcula mediante la simple resta: índice de calidad térmica menos el índice de precisión en la termorregulación (d_e-d_b), donde un valor de 0 indica un termoconformismo perfecto, y valores positivos indican animales que termorregulan activamente.

3.2. Cálculo de horas de restricción térmica (H_r)

Siguiendo el método utilizado en Sinervo *et al.* (2010), se calculó el número de horas de restricción promedio para cada especie durante lluvias y secas, de las 9:00 a las 21:00 hrs. Para esto se utilizaron las temperaturas operativas (T_e) registradas en cada estación, y el intervalo de temperaturas preferidas (T_p) que tuvo cada especie en cada estación. Durante la obtención de los datos de T_e en algunos sitios, la cantidad de días de muestreo para cada microhábitat (sobre roca, grieta, y vegetación) fue irregular, por esto se promediaron los datos por hora para disminuir el sesgo en cálculo final de las T_e . Una vez conocido el intervalo de T_p para cada especie, se cuantificaron las horas inferiores (Hr_{inf}), es decir,

todas las horas de donde se registró un promedio de T_e por debajo del límite inferior del intervalo de T_p . Del mismo modo se calcularon las horas dentro del intervalo de T_p (H_{ok}), es decir, todas las horas donde el promedio de T_e estuvo dentro de los límites del intervalo de T_p . Finalmente se calcularon las horas de restricción (H_r), esto es, todas las horas donde el promedio de T_e estuvo por encima del límite superior del intervalo de T_p .

3.3. Calibración de iButtons para estimar T_b

Para observar la relación entre las temperaturas registradas por los iButtons ($T_{iButton}$) y las temperaturas internas (T_b) de las lagartijas, a tres individuos adultos de *S. poinsettii* y dos de *S. jarrovi* se les colocó un iButton modificado de acuerdo a (Robert & Thompson, 2003) (Fig. 5), y adherido al dorso con pegamento de cianocrilato (Fig. 6). Además, a cada individuo se le colocó dentro de la cloaca, una termocupla tipo K conectada a un termómetro digital. Para sujetar la termocupla se usó cinta adhesiva. Los iButtons colocados fueron programados para registrar la temperatura cada minuto, y de forma simultánea se registró cada minuto la temperatura cloacal de las lagartijas usando la termocupla y termómetro digital. Las lagartijas fueron colocadas dentro de una cámara de aproximadamente 40 x 25 x 30 cm, equipada con bombillos eléctricos de filamento de tungsteno de 100w controlados por un termostato para ajustar la temperatura deseada dentro de la misma. Se registró la temperatura de cada una de las cinco lagartijas durante una hora haciendo incrementos de aprox. 5°C cada 20 minutos dentro de la cámara. El experimento inició en 25°C, después de 20 minutos de mediciones, se incrementó a 30°C, y finalmente a 35°C.

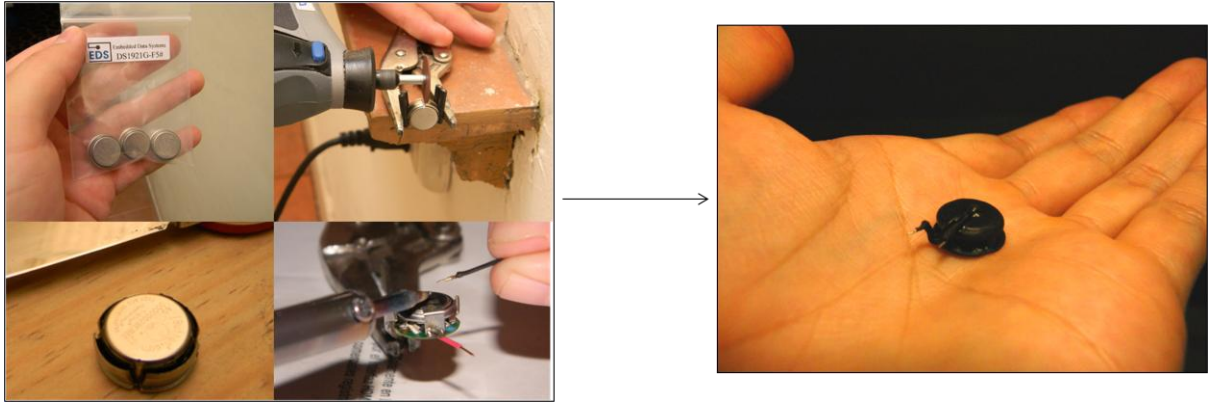


Figura 5. Reconstrucción de iButton (Thermochron®, Dallas Semiconductors), de acuerdo a Robert & Thompson (2003). El procedimiento consiste en quitar la carcasa de metal que contiene a los componentes electrónicos, para eliminar exceso de peso y volumen. Posteriormente los componentes electrónicos y la pequeña batería son recubiertos con plástico en aerosol (Plastidip®), para darle protección.

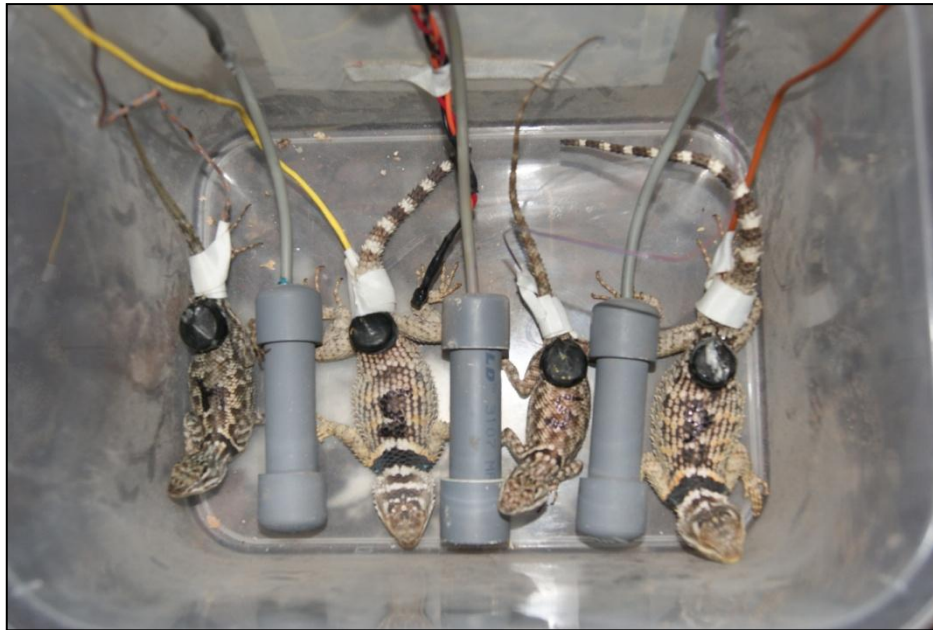


Figura 6. Individuos de *Sceloporus jarrovii* y *Sceloporus poinsettii* dentro de la cámara de calibración de los Hobos y iButtons. Los individuos llevan en su dorso un iButton adherido, y una sonda en la cloaca conectada a un termómetro digital para registrar simultáneamente ambas temperaturas. Entre las lagartijas se observan los modelos de PVC (Hobos) que también fueron incluidos en la calibración.

3.4. Análisis estadísticos

Para comparar variables continuas (temperatura), de un solo factor se utilizó la prueba paramétrica de t de student. Para comparaciones de variables continuas de más de un

factor se utilizaron modelos estándar ajustados mediante el método de cuadrados mínimos (análisis de varianza (ANOVA), y análisis de covarianza (ANCOVA)). Antes de realizar dichas pruebas se verificó que los datos cumplieran con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Sokal & Rohlf 1995).

Para hacer comparaciones de los índices de d_e , d_b , E , y d_e-d_b entre especies y estaciones, se utilizó el método propuesto por J. Felsenstein (Hertz *et al.* 1993), que se basa en el remuestreo de los datos de la muestra original o “Bootstrapping”, en nuestro caso el remuestreo de los datos que originan a cada índice. Por ejemplo: el índice de eficiencia en la termorregulación es: $E = 1-d_b/d_e$, por lo tanto para observar si había una diferencia significativa de E de *Sceloporus jarrovi* entre temporada posthúmeda y secas, se ordenó al programa estadístico que obtuviera muestras aleatorias de los valores de d_e y luego de d_b para calcular E , seleccionando los valores sin hacer distinción entre los datos de ambas temporadas, después se volvió a hacer lo mismo para obtener un nuevo valor de E y se calculó la diferencia entre el par de índices generados aleatoriamente. Este procedimiento se realizó 10,000 veces y se generó una distribución de las diferencias que se esperarían al azar entre dos valores de E , es decir, las diferencias que se observarían al azar en base a la muestra original pero sin tomar en cuenta el efecto de la temporada (posthúmeda y seca). Después se procedió a ubicar el valor de la diferencia observada real entre E en posthúmeda y E en seca dentro de la distribución generada para calcular la probabilidad (P) de encontrar dicha diferencia o mayor. Una diferencia con P menor a 0.05 se consideró significativa. Todos los análisis estadísticos se generaron en el paquete estadístico R.

4. Resultados

4.1. Temperaturas preferidas (T_p)

Durante la estación seca, se mantuvo a seis individuos de *Sceloporus jarrovii* y siete de *Sceloporus poinsettii* dentro del gradiente térmico durante un día de las 9:00-20:00hrs, dando un total de 72 y 84 lecturas de T_p respectivamente. En la estación seca, se mantuvo a 10 individuos de *S. jarrovii* y 10 de *S. poinsettii* dentro del gradiente térmico durante un día de las 11:30–17:30hrs, dando un total de 70 y 70 lecturas de T_p respectivamente. El intervalo de T_p fue similar y estrecho en las dos especies durante las dos temporadas. Durante la estación seca se obtuvieron intervalos de T_p de 34-35.5 para *S. jarrovii* y de 33.5-35.5 para *S. poinsettii*. En la estación de lluvias los intervalos de T_p fueron de 34.3-35.7 para *S. jarrovii*, y de 35.2-37.4 para *S. poinsettii*. El promedio de T_p que registraron *S. jarrovii* y *S. poinsettii* durante secas fue de 33.1 ± 3.6 y 31.3 ± 5.8 respectivamente. Durante lluvias *S. jarrovii* y *S. poinsettii* registraron un promedio de T_p 33.6 ± 3.7 y 34.4 ± 4.6 respectivamente.

No se observaron diferencias significativas entre especies en general, pero si entre especies dentro de cada estación. Se observó un efecto significativo de la estación sobre la T_b de ambas especies, que fueron más altas en lluvias que en secas (ANOVA, efecto de la especie: $F_{[1,288]} = 1.54$, $P = 0.2$; efecto de la estación: $F_{[1,288]} = 11.70$, $P < 0.0001$; efecto de la interacción especie-estación: $F_{[1,288]} = 5.44$, $P = 0.02$).

4.2. Temperaturas operativas (T_e)

Durante la estación seca se obtuvieron datos de las T_e durante tres días consecutivos, se obtuvo la información de seis modelos nulos de las 9:00-20:00hrs, para un total de 216 registros de temperatura. En la estación de lluvias se obtuvieron datos de seis modelos

nulos durante dos días consecutivos de las 9:00-20:00hrs, para un total de 144 registros de temperatura.

En general las T_e fueron más altas durante la estación seca, que en la de lluvias con un promedio de 33.5 ± 6.24 y 23.65 ± 5.31 respectivamente. Se realizó una prueba de t de student y se observaron diferencias significativas ($t = 22.2253$, $df = 333.046$, $P < 0.0001$).

4.3. Temperaturas de lagartijas en campo (T_b)

Durante la temporada seca se logró obtener la temperatura corporal (T_b) de ocho individuos de *S. jarrovii* y nueve de *S. poinsettii* en campo. El promedio de la T_b fue de 33.9 ± 2.42 y 33.4 ± 2.39 respectivamente. En la estación de posthúmeda se logró obtener la T_b de 10 individuos de *S. jarrovii* y 10 de *S. poinsettii* en campo. El promedio de la T_b fue de 30.5 ± 2.29 y 28.5 ± 2.99 respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre especies en general, ni entre especies dentro de cada estación, pero si se observó un efecto significativo de la estación sobre la T_b de ambas especies como un solo grupo, que fue más altas en secas que en lluvias (ANOVA, efecto de la especie: $F_{[1,33]} = 2.47$, $P = 0.1$; efecto de la estación: $F_{[1,33]} = 21.88$, $P < 0.0001$; efecto de la interacción especie-estación: $F_{[1,33]} = 1.03$, $P = 0.3$).

Los promedios de las T_b en ambas especies estuvieron dentro de su intervalo de T_p durante la temporada seca, y fuera de su intervalo de T_p durante la temporada posthúmeda (Fig. 6).

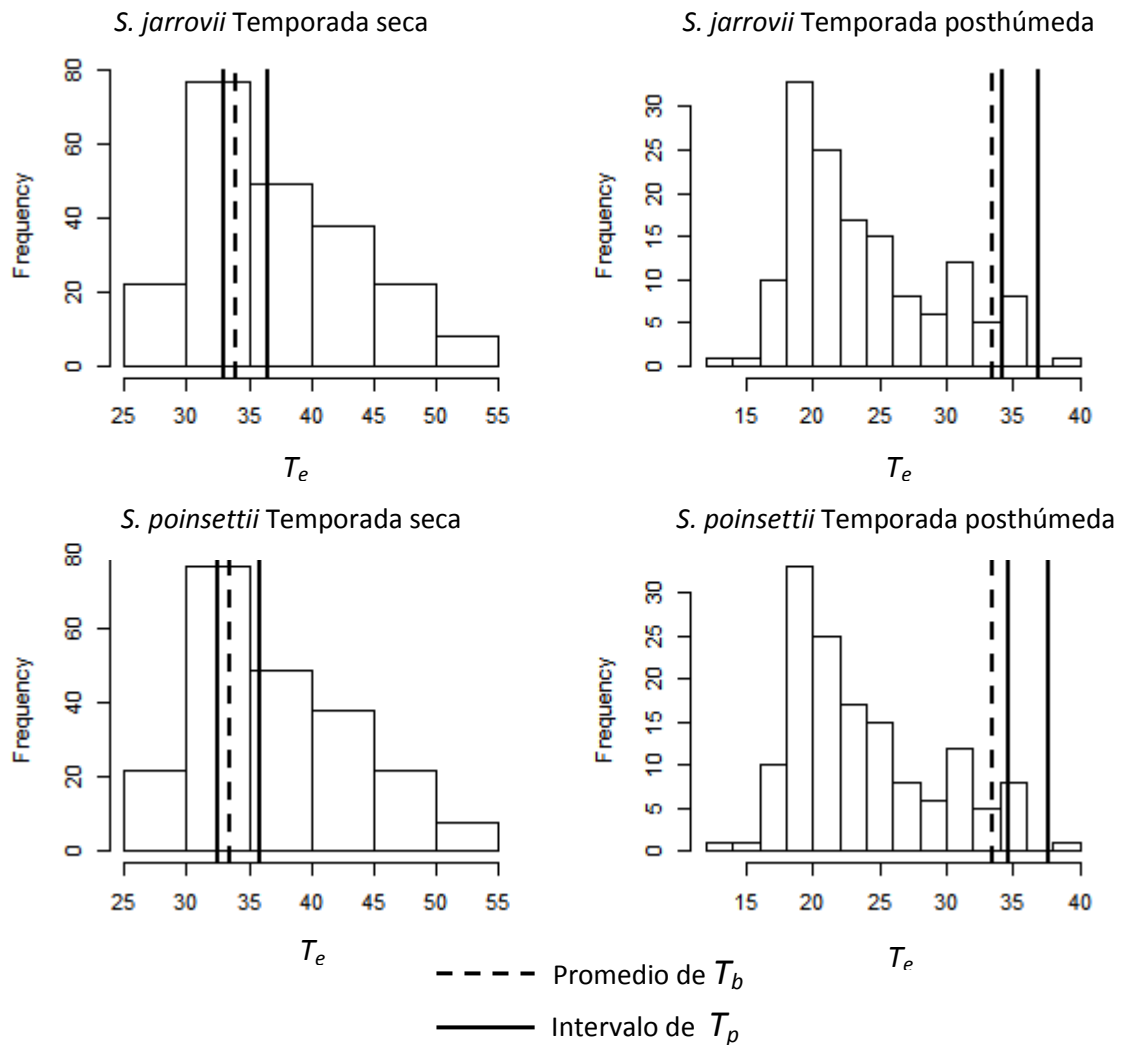


Figura 6. Distribución de las temperaturas operativas (T_e) durante la temporada seca (junio) y la posthúmeda (octubre). Se muestra un histograma por especie y por temporada. Las líneas rojas representan los límites del intervalo de temperaturas preferidas (T_p), y la línea azul representa al promedio de las temperaturas de individuos en campo (T_b).

4.4. Índices de calidad térmica del hábitat (d_e) y precisión en la termorregulación (d_b)

El promedio del índice calidad térmica del hábitat (d_e) en lluvias fue de 13.0 para *S.*

jarrovii y de 11.26 para *S. poinsettii*. En secas fue de 3.99 y 3.85 respectivamente. Lo que

indica una mayor calidad térmica para ambas especies durante la estación seca, que en

lluvias donde la mayoría de las desviaciones estuvieron dadas por temperaturas por

debajo del intervalo de T_p . El análisis de Bootstrap mostró que las diferencias observadas

en los índices d_e y d_b entre estaciones fue significativa en todos los casos (diferencia de d_e

S. jarrovi en lluvias y secas, $P < 0.0001$; diferencia de d_e *S. poinsettii* en lluvias y secas, $P < 0.0001$; diferencia de d_b *S. jarrovi* en lluvias y secas, $P < 0.0003$; diferencia de d_b *S. poinsettii* en lluvias y secas, $P < 0.0001$) (Fig. 7) y (Tabla 2).

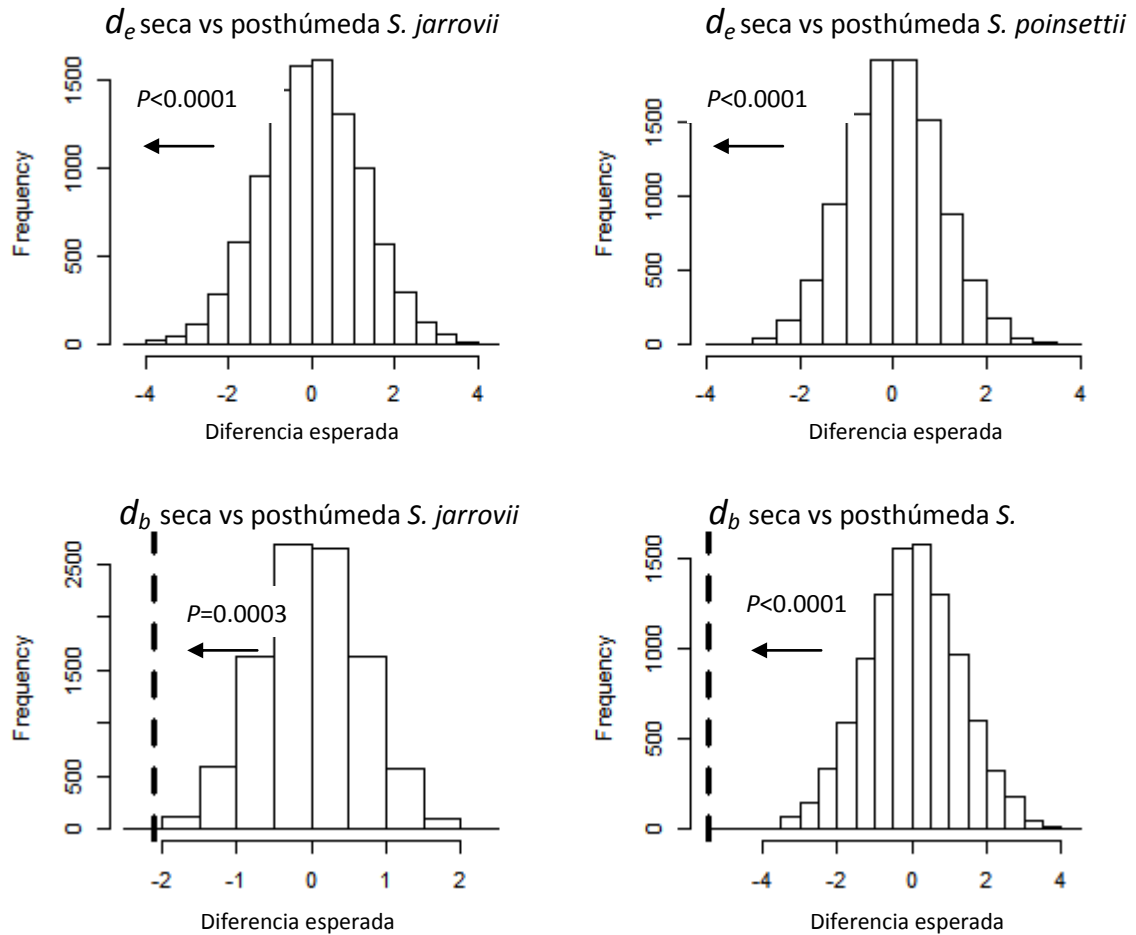


Figura 7. Prueba de significancia de Bootstrap. Distribución (barras) de las diferencias esperadas a la azar entre temporada seca y posthúmeda del índice de calidad térmica (d_e), y del de precisión en la termorregulación (d_b) de *Sceloporus jarrovi* y *Sceloporus poinsettii*, y valor de la probabilidad (línea punteada) de la diferencia real observada entre los índices.

4.5. Índices de eficiencia en la termorregulación (E) y (d_e-d_b)

El índice de eficiencia en la termorregulación de Hertz (E) para *S. jarrovii* durante la temporada posthúmeda y seca fue de 0.72 y 0.63 respectivamente, no se observaron diferencias significativas (Bootstrap, 10,000, $P=0.1$). Para *S. poinsettii* el índice de E durante la temporada posthúmeda y seca fue de 0.41 y 0.70 respectivamente, no se observaron diferencias significativas (Bootstrap, 10,000, $P=0.056$).

El índice de eficiencia en la termorregulación de Blouin-Demers & Weatherhead (d_e-d_b) para *Sceloporus jarrovii* fue significativamente mayor durante la temporada posthúmeda que en la seca, con 9.42 y 2.51 respectivamente (diferencia, $P<0.0001$). Para *Sceloporus poinsettii* el índice de d_e-d_b en temporada posthúmeda y seca fue de 4.65 y 2.69 respectivamente, no se observaron diferencias significativas (diferencia, $P=0.1$) (Tabla 2) y (Fig. 8).

Tabla 2. Tabla con resultados de los índices de precisión en termorregulación (d_b), índice de calidad térmica del hábitat (d_e), e índices de eficiencia de la termorregulación de Hertz et al. (1993) (E), e índice de eficiencia de la termorregulación de Blouin-Demers & Weatherhead (2001b) (d_e-d_b). En gris están los valores de la temporada y seca, y en azul los de la temporada posthúmeda.

Especie	Índices por temporada							
	d_b		d_e		E		d_e-d_b	
	seca	Post húmeda	seca	Post húmeda	seca	Post húmeda	seca	Post húmeda
<i>Sceloporus jarrovii</i>	1.47	3.58	3.99	13.0	0.63	0.72	2.51	9.42
<i>Sceloporus poinsettii</i>	1.15	6.61	3.85	11.26	0.70	0.41	2.69	4.65

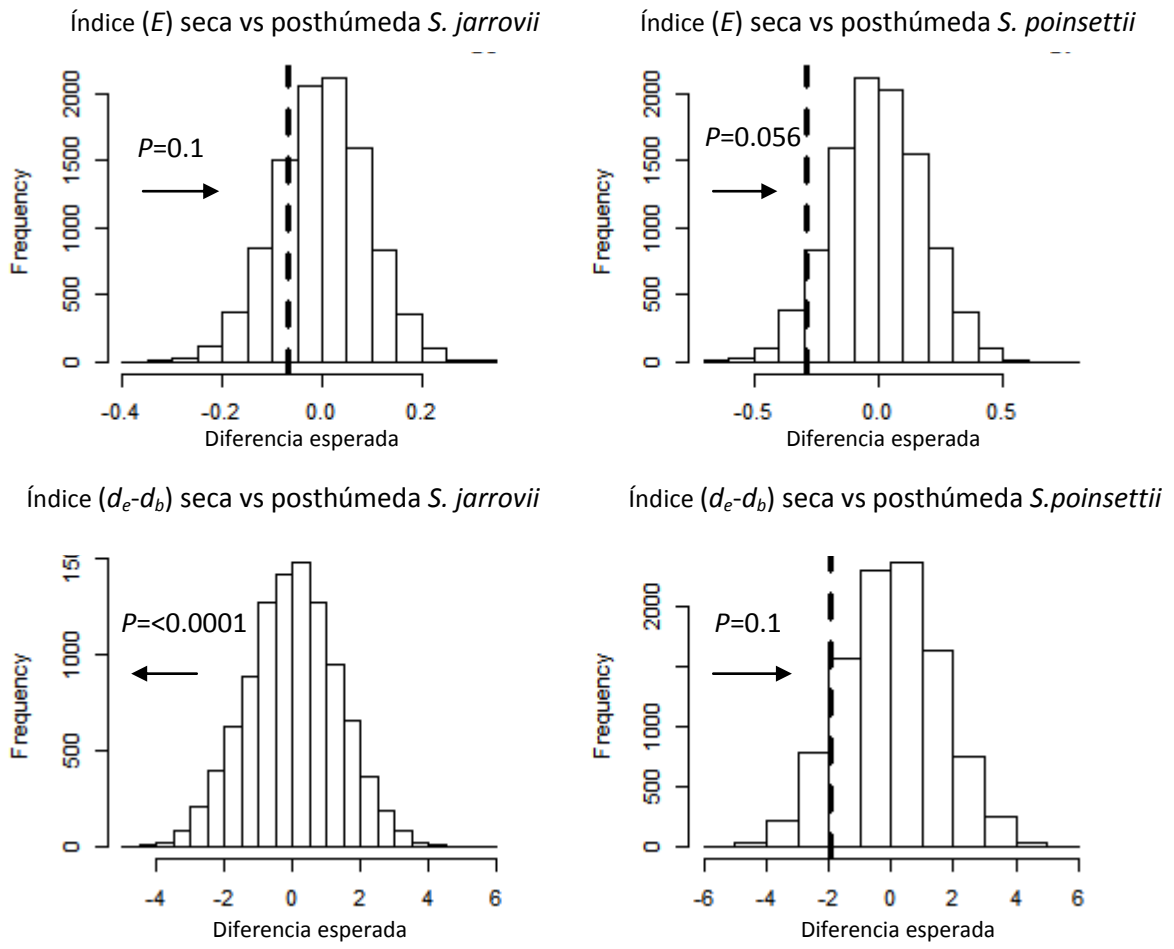


Figura 8. Distribución (barras) de las diferencias esperadas a la azar entre los índices de eficiencia en la termorregulación (E) y (d_e-d_b) de *Sceloporus jarrovii* y *Sceloporus poinsettii* entre temporada seca y posthúmeda, y la probabilidad (línea punteada) de la diferencia real observada entre los índices.

4.6. Horas de restricción térmica (H_r)

El número de horas de restricción térmica (H_r) durante el periodo de 12 horas de 9:00 a 21:00 hrs, fue alto para ambas especies durante la temporada seca y bajas o nulas durante la temporada posthúmeda. *S. jarrovii* tuvo 6.33 y 0.99 H_r en seca y posthúmeda respectivamente. *S. poinsettii* tuvo 6.33 y 0 H_r en seca y posthúmeda respectivamente. En cuanto al número de horas térmicamente inferiores (H_{inf}), el número fue bajo durante la temporada seca y alto durante la temporada posthúmeda para ambas especies. *S. jarrovi* tuvo 3.66 y 10.66 H_{inf} respectivamente. *S. poinsettii* tuvo 2.99 y 10.66 H_{inf} respectivamente. En cuanto a las horas con temperaturas dentro del intervalo preferido (H_{ok}), el número fue mayor para ambas especies durante la temporada seca que la posthúmeda. *Sceloporus jarrovii* tuvo 1.99 y 0.33 H_{ok} en seca y posthúmeda respectivamente. *Sceloporus poinsettii* tuvo 2.63 y 0.99 H_{ok} en seca y posthúmeda respectivamente (Fig. 9).

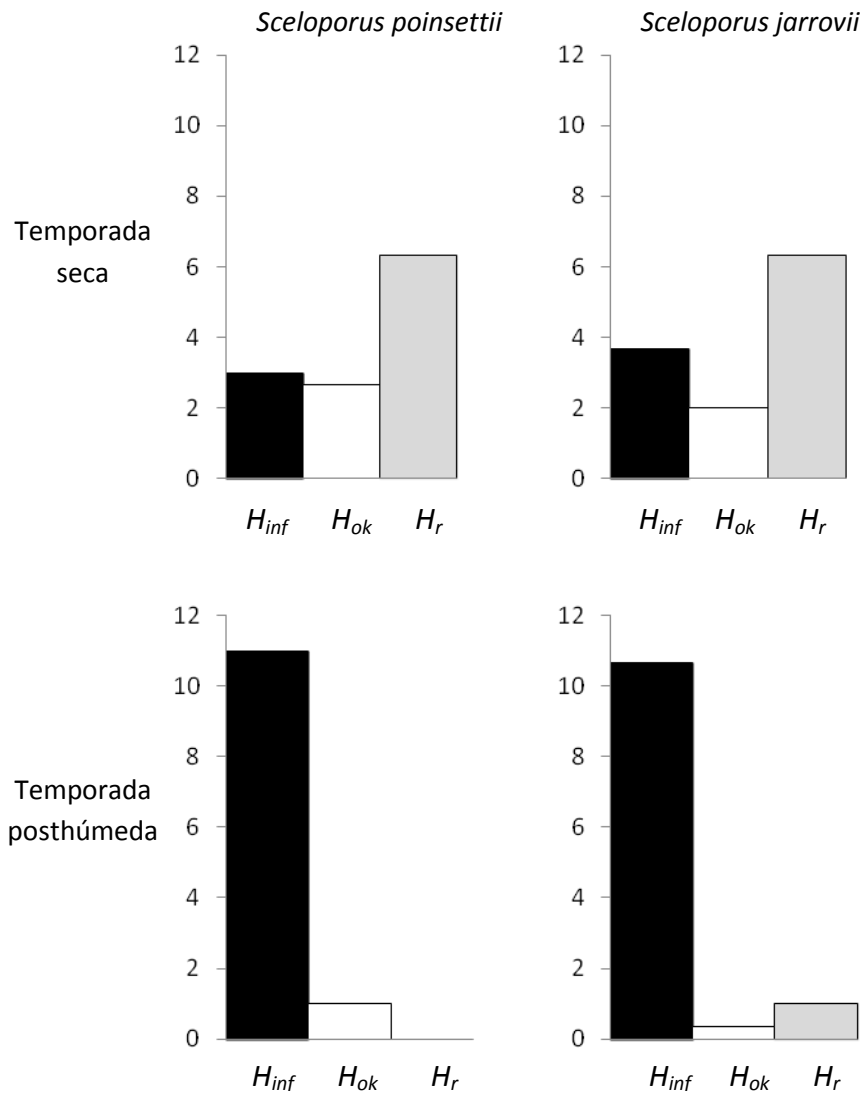


Figura 9. Las barras grises muestran el número de horas de restricción térmica (H_r), horas del día (9:00-21:00) en que las temperaturas operativas (T_e) se encuentran por arriba de los límites de temperatura preferida (T_p). Las barras negras muestran el número de horas térmicamente inferiores (H_{inf}) horas donde T_e estuvo por debajo de los límites de T_p . Las barras blancas muestran las horas con temperaturas dentro de T_p (H_{ok}).

4.7. Uso de iButtons para estimar temperaturas corporales de lagartijas, y calibración de Hobos

En cuanto a la calibración de los iButtons, la T_b y $T_{iButton}$ en los individuos de *S. poinsettii* ($n=3$) variaron de 23.1 – 36.5°C y 23.5 – 38°C respectivamente, con una diferencia promedio de 1.49°C la T_b y la $T_{iButton}$ ($n = 60$ mediciones). En los individuos de *S. jarrovii* ($n=2$), La T_b y $T_{iButton}$ variaron de 23.7 – 37.0°C y 24.0 – 39.0°C respectivamente, con una diferencia promedio de 0.80°C entre T_b y la $T_{iButton}$ ($n = 60$ mediciones).

Se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) para observar la relación de cambio entre la T_b y la $T_{iButton}$ y para observar si existía diferencia de dicha relación entre las dos especies.

Dentro del análisis, la T_b y la $T_{iButton}$ se asignaron como covariables y el factor fijo fue la especie. Los resultados del modelo de ANCOVA mostraron que la $T_{iButton}$ es un buen

indicador de la T_b . El análisis mostró una diferencia significativa entre las dos especies

(ANCOVA $F_{1,299} = 70.71$, $P < 0.0001$), por lo que se procedió a realizar un modelo de

regresión por especie (Fig. 10). El modelo cumplió con el supuesto de normalidad y homocedasticidad de residuales. La ecuación lineal obtenida para *S. poinsettii* fue $T_b = 1.29$

+ 0.91 x $T_{iButton}$ ($n = 180$, $r^2 = 0.95$, $P < 0.0001$), y para *S. jarrovii* fue $T_b = 1.38 + 0.93 \times T_{iButton}$

($n = 120$, $r^2 = 0.95$, $P < 0.0001$).

Regresión Tcloacal vs Tibutton

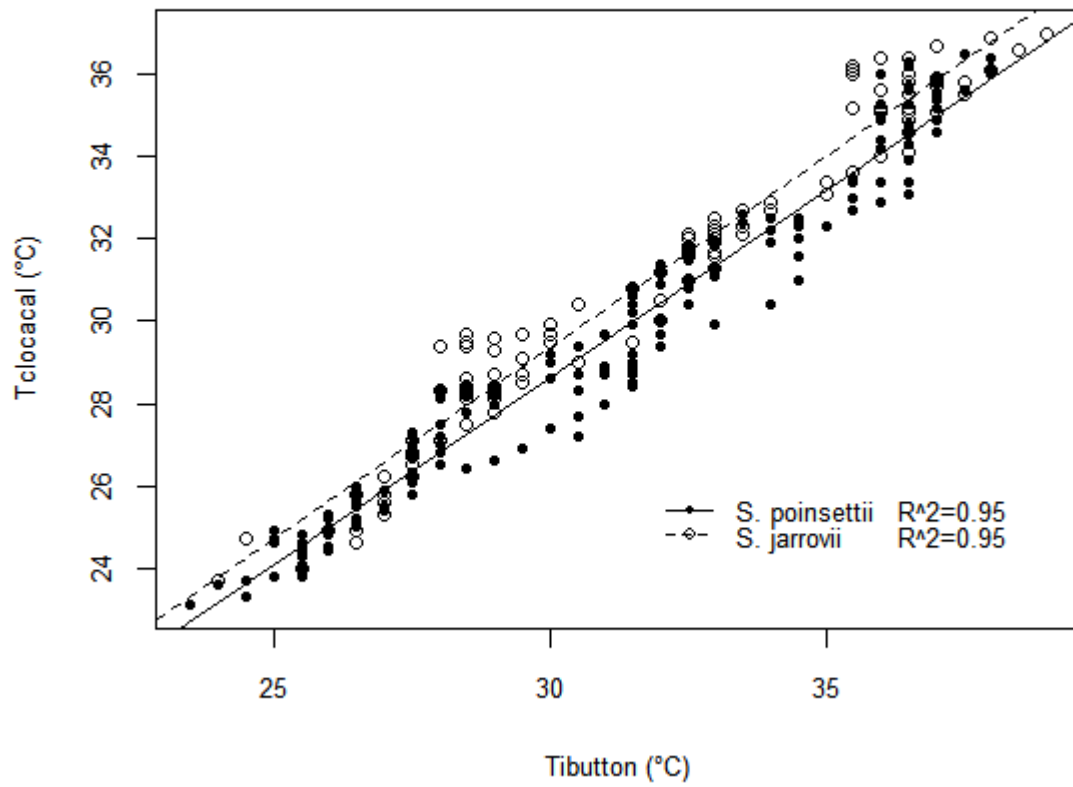


Figura 10. Modelos de regresión de la temperatura cloacal en función de la temperatura registrada por el iButton en *Sceloporus poinsettii* y *Sceloporus jarrovi*.

Por otro lado, también se realizó una calibración de los modelos nulos (Hobos), respecto a la temperatura cloacal de las lagartijas. La diferencia promedio entre los Hobos y la temperatura cloacal fue de 1.06 ± 4.16 para *S. jarrovi*, y de 2.28 ± 4.10 para *S. poinsettii*. Se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) para observar la relación de cambio entre la T_b y la temperatura registrada por el Hobo (T_{Hobo}), y para observar si existía diferencia de dicha relación entre las dos especies. Dentro del análisis, la T_b y la T_{Hobo} se asignaron como covariables y el factor fijo fue la especie. Los resultados del modelo de ANCOVA mostraron que existe una relación lineal fuerte entre la T_b y la T_{Hobo} , y que por lo tanto éste es un buen predictor de la T_b . El análisis mostró una diferencia significativa entre las

dos especies (ANCOVA $F = 138$, $P < 0.0001$), por lo que se procedió a realizar una línea de regresión para cada especie (Fig. 11). El modelo cumplió con el supuesto de normalidad y homocedasticidad de residuales. La ecuación lineal obtenida para *S. poinsettii* fue: $T_b = 2.31 + 0.95 \times T_{Hobo}$ ($n = 180$, $r^2 = 0.95$, $P < 0.0001$), y para *S. jarrovii* la ecuación obtenida fue: $T_b = 2.58 + 0.95 \times T_{Hobo}$ ($n = 120$, $r^2 = 0.95$, $P < 0.0001$).

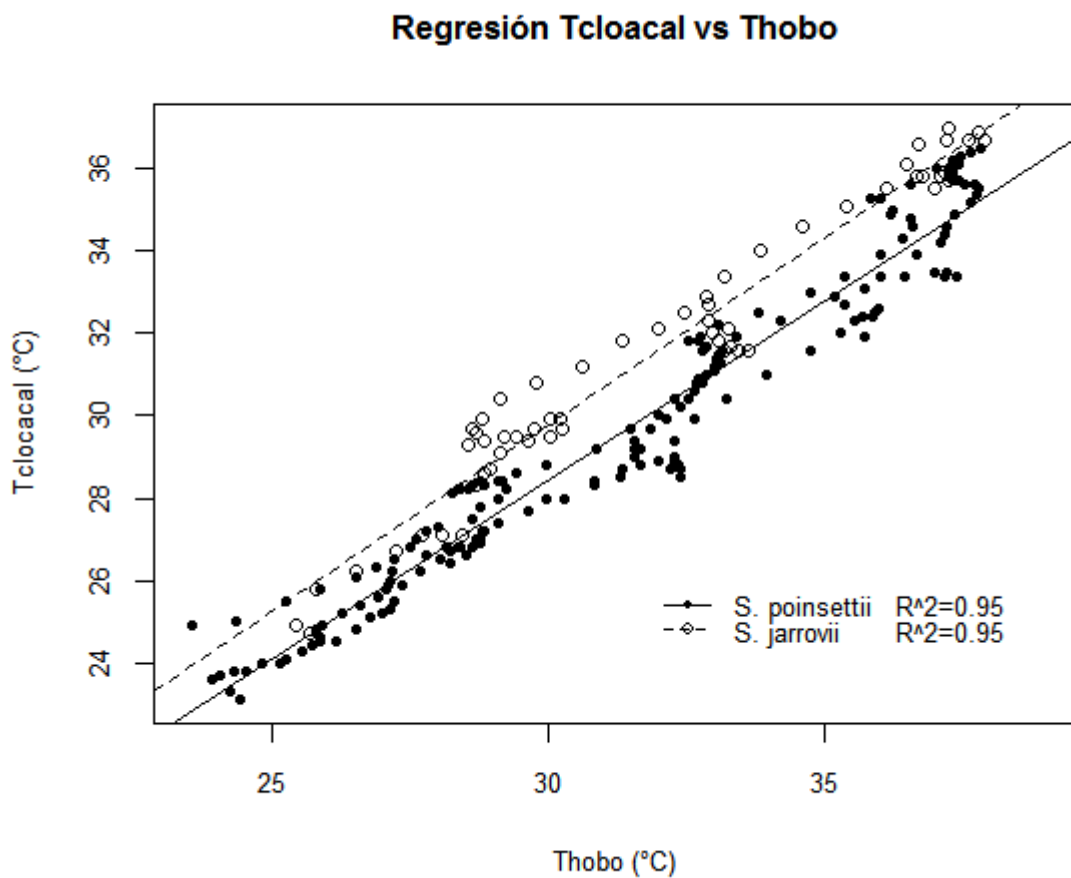


Figura 11. Modelos de regresión de la temperatura cloacal (Tcloacal) en función de la temperatura registrada por el Hobo (Thobo) en *Sceloporus poinsettii* y *Sceloporus jarrovii*.

Se realizó una a ANOVA de dos vías para observar el efecto de la técnica empleada para registrar la temperatura seleccionada de individuos dentro del gradiente térmico. A un grupo de individuos de cada especie se les capturó cada hora para medir su temperatura cloacal, y al otro grupo se le colocó un iButton en el dorso por lo que no eran capturados para registrar su temperatura. La

temperatura de los individuos que eran capturados continuamente fue mayor que la de los individuos que no eran capturados. Las diferencias fueron significativas en ambas especies (Fig. 12) (ANOVA, efecto de la especie: $F_{[1,288]} = 4.55$, $P = 0.03$; efecto de la técnica: $F_{[1,288]} = 5.66$, $P < 0.01$)

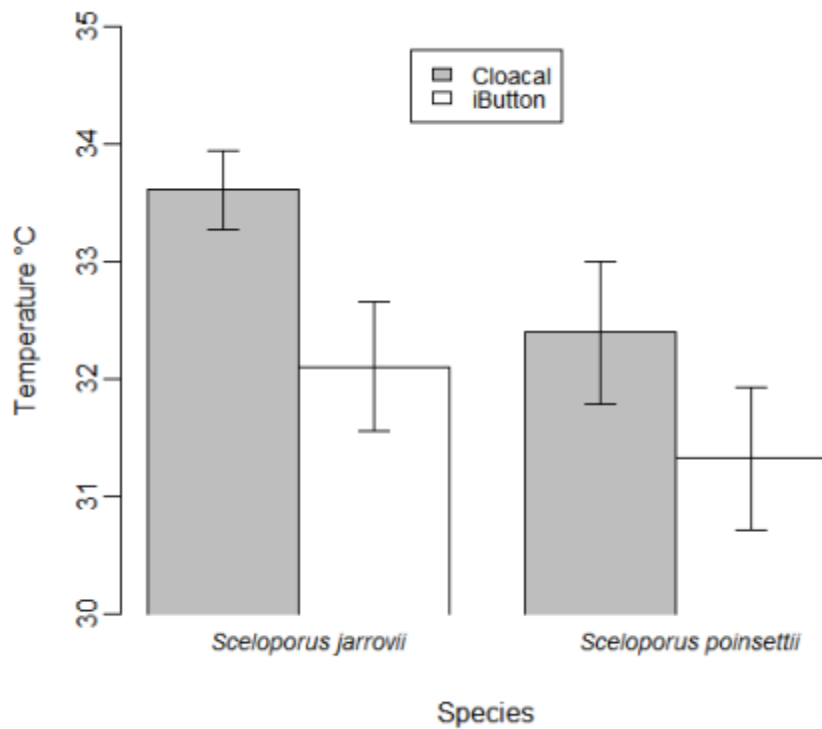


Figura 12. Efecto de la técnica usada para registrar las temperaturas preferidas dentro del gradiente térmico. Las barras grises muestran temperaturas seleccionadas por individuos que eran capturados manualmente cada hora durante el experimento. Las barras blancas muestran temperaturas seleccionadas por individuos a los que se les colocó un iButton en el dorso para registrar la información y no eran capturados durante el experimento.

5. Discusión

5.1. Índices de eficiencia en la termorregulación (E) y (d_e-d_b)

El índice de eficiencia en la termorregulación (E), fue muy similar en la temporada seca y en la posthúmeda para ambas especies. Solo se observó una diferencia marginalmente no significativa en *Sceloporus poinsettii* con una E mayor durante la temporada seca, donde las temperaturas operativas (T_e) fueron significativamente mayores. De acuerdo a Hertz *et al.* (1993), el índice de eficiencia en la termorregulación (E), refleja el grado esfuerzo que un ectotermo invierte para mantener su temperatura corporal (T_b) dentro de su intervalo de temperaturas preferidas (T_p). El resultado de dicho índice es de hecho una proporción de la precisión para termorregular (d_b), respecto a la calidad térmica que ofrece el hábitat (d_e). Como ya lo había advertido Hertz *et al.* (1993), un mismo valor del índice de (E) puede darse mediante diferentes combinaciones de (d_b) y (d_e), por esto, estos dos últimos índices deben ser examinados directamente para poder interpretar el significado biológico del índice. En cuanto a esto, los resultados mostraron que la calidad térmica del hábitat (d_e), fue significativamente mayor para ambas especies durante la temporada seca. Así mismo, la precisión al termorregular fue significativamente mayor durante la temporada seca para ambas especies. De acuerdo a la teoría de costos y beneficios de la termorregulación (Huey & Slatkin, 1976), la termorregulación tendrá un mayor costo en ambientes con baja calidad térmica, y un ectotermo termorregulará de manera precisa solo cuando ello implique mayores beneficios que costos. Ya que *S. poinsettii* mostró un menor eficiencia durante la temporada posthúmeda podríamos argumentar que existió algún factor ecológico que impuso mayores costos que beneficios para que *S. poinsettii* termorregulara eficientemente, dicho resultado esto también podría significar que las temperaturas operativas necesarias no estuvieron disponibles en

su hábitat durante la temporada posthúmeda. Sin embargo debemos tomar en cuenta que la diferencia fue marginalmente no significativa, por lo que siendo rigurosos, no hubo diferencias significativas del índice (E) entre temporadas en ninguna de las especies. El hecho de que E no haya mostrado diferencias significativas entre temporadas, y los índices d_e y d_b si, podría estar dado por la misma naturaleza problemática de E , lo cual discutimos más adelante.

En cuanto al índice de eficiencia de la termorregulación de Blouind-Demers & Weatherhead (2001) (d_e-d_b), si se encontró una diferencia significativa entre temporadas en *Sceloporus jarrovii*, con una eficiencia mayor en la temporada posthúmeda. Este resultado apoya nuestra hipótesis, ya que esperábamos ver una mayor eficiencia durante la temporada posthúmeda por la mayor disponibilidad de parches térmicos que ofrece la vegetación, y el clima en general durante esta temporada. Sin embargo en *S. poinsettii* no hubo diferencias significativas. El valor de menor calidad térmica que se registró, fue para *S. jarrovii* durante la temporada posthúmeda, sin embargo tuvo un índice de d_e-d_b mayor en esa temporada, lo que significaría que invirtió mayor esfuerzo en termorregular, y que por lo tanto mantener dicha temperatura es importante para algún aspecto de su biología.

Durante la temporada posthúmeda las temperaturas operativas fueron significativamente más frías. En esta temporada, *S. jarrovii* tuvo una mayor precisión para termorregular que *S. poinsettii* ($d_b=3.58$ y 6.51 respectivamente) a pesar de tener una menor calidad térmica ($d_e=13.0$ y 11.26 respectivamente). Esto podría sugerir que *S. jarrovii* tiene mayor capacidad de elevar su temperatura que *S. poinsettii*. Se ha demostrado, por ejemplo, que *S. jarrovii* es capaz de elevar su temperatura corporal mediante el obscurecimiento de su piel (Sherbrooke *et al.*, 1994).

Como ya lo habían mencionado Hertz *et al.* (1993), y posteriormente Blouind-Demers & Weatherhead (2001), el índice de E , es problemático porque distintas combinaciones de d_e y d_b , pueden dar el mismo valor en el índice. Así entonces, en nuestros resultados, cuando se realizó el análisis de bootstrapping para observar diferencias de E entre temporadas, el programa estadístico realizó el remuestreo al azar para calcular 10,000 veces el índice de E , en ese proceso es posible que los valores elegidos al azar dieran distintas combinaciones de d_e y d_b arrojando varias veces el mismo valor de E , y ocultando así la variabilidad real de la muestra. En cambio, al realizar el mismo análisis pero con el índice de eficiencia (d_e-d_b), si se observan diferencias significativas (en *S. jarrovii*), ya que éste índice no esconde la variabilidad de los datos originales al ser calculado. Por lo anterior tal y como se recomendó previamente por Blouind-Demers & Weatherhead (2001), el índice de E debería ser abandonado, y utilizarse a d_e-d_b como índice de la eficiencia de la termorregulación en ectotermos.

5.2. Horas de restricción térmica (H_r)

En general el número de horas de restricción térmica (H_r) fue alto durante la temporada seca para ambas especies (6.33 H_r para ambas especies). Esto concuerda con el escaso número de lagartijas que observamos en campo durante esta temporada. Aunque el modelo de Sinervo *et al.* (2010), predice una extinción local con un número de 3.85 H_r durante la temporada reproductora, es importante analizar también las horas de restricción en otras épocas del año. El alto número de H_r que nosotros observamos durante la temporada seca puede afectar directamente el estado físico que las lagartijas tendrán durante los meses subsecuentes y así afectar su éxito reproductor.

En cuanto el número de horas térmicamente inferiores (H_{inf}), fue alto para ambas especies durante la temporada posthúmeda, 10.66 para *S. jarrovii* y 11 para *S. poinsettii*, incluso, todas las T_b durante esta temporada estuvieron por debajo del intervalo de T_p , y aunque pueda parecer beneficioso para las lagartijas por el hecho de haber obtenido índices de eficiencia altos en esta temporada, puede serlo solo hasta cierto punto, ya que estudios anteriores han mostrado que en ambientes fríos donde las temperaturas preferidas son difíciles de encontrar, el costo de termorregular se vuelve tan alto que las lagartijas cesan su actividad (Herczeg *et al.*, 2006).

5.3. Uso de iButtons para estimar temperatura interna en lagartijas

Durante la calibración se observó una gran similitud de las temperaturas registradas por los iButtons y las temperaturas cloacales de las lagartijas. En *S. jarrovii* la diferencia promedio entre el iButton y el termómetro cloacal fue de 0.80°C, y en *S. poinsettii* de 1.49°C. Además las regresiones lineales realizadas mostraron que es posible incluso hacer una ecuación de corrección por especie. Aunque esta técnica ha sido implementada en otros estudios, no se encontraron otros trabajos donde se reporte la variación entre las temperatura del iButton respecto a la temperatura cloacal en lagartijas.

El análisis del efecto de la técnica utilizada al obtener temperaturas preferidas en laboratorio (Capturar manualmente cada hora a las lagartijas vs. Colocar iButton en dorso y no capturar), mostró que las lagartijas de ambas especies que eran capturadas cada hora durante el experimento seleccionaron temperaturas significativamente más altas que las que no eran capturadas. Esto puede deberse a que las lagartijas que son capturas continuamente están bajo mayor estrés, y se ha observado que las lagartijas que están

bajo estrés (Peligro de depredación), mantienen temperaturas más altas para tener una mayor capacidad de escapar del posible depredador (Cooper, 2000). Lo anterior, demuestra que el uso de iButtons es viable y recomendable para la toma de temperaturas en laboratorio, ya que los datos obtenidos en éste estudio sugieren que existe una influencia de la manipulación de las lagartijas sobre su temperatura seleccionada dentro del gradiente. Además, por su accesible costo, y el gran número de datos que uno puede obtener sin necesidad de capturar al individuo continuamente, puede ser una técnica ideal para aumentar el número de muestras de temperaturas de lagartijas en campo.

Por otro lado, durante la calibración de los modelos Hobo, también se observó una gran similitud de las temperaturas registradas por los Hobos y las temperaturas cloacales de las lagartijas, la diferencia promedio entre los Hobos y la temperatura cloacal fue de 1.06 ± 4.16 para *S. jarrovii*, y de 2.28 ± 4.10 para *S. poinsettii*. Además las regresiones lineales realizadas mostraron gran significancia y que es posible incluso hacer una ecuación de corrección para cada especie. A pesar de que el uso de modelos nulos para obtener temperaturas operativas tiene ya varias décadas en uso, muy pocos trabajos reportan la precisión de los modelos para estimar la temperatura corporal de la especie de estudio.

6. Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que *S. jarrovii* y *S. poinsetti* están expuestas a un contraste estacional de la calidad térmica de su hábitat. Durante la temporada posthúmeda, la calidad térmica fue muy baja, sin embargo dicha baja calidad térmica se dio en su mayoría por temperaturas inferiores, lo cual por lo visto es beneficioso y les permite obtener índices de eficiencia en la termorregulación altos. Es sensato pensar que otros factores como la disponibilidad de alimento y la humedad en el ambiente durante esta temporada, permita a también las lagartijas dedicar un mayor esfuerzo a la conducta termorregulatoria y obtener valores más altos del índice de eficiencia en la termorregulación.

El análisis de bootstrap para comparar los índices de eficiencia en la termorregulación (E), y $(d_e - d_e)$, mostraron un problema que no se ha reportado antes en estudios de termorregulación. Debido a que combinaciones diferentes de d_e y d_b , pueden generar valores iguales de E , no es recomendable su comparación mediante el uso de bootstrapping. Esto significa una razón más para abandonar el uso de este índice, y remplazarlo por el uso de $d_e - d_b$.

El número de horas de restricción que se registró durante la temporada posthúmeda fue muy bajo. Si nos basamos en el modelo de Sinervo *et al.* (2010), donde se ajustó un modelo global que predecía una extinción local de lagartijas cuando se superaran $3.85H_r$, en promedio durante la temporada reproductora, se podría concluir que en el área de estudio *S. jarrovii* y *S. pinsettii* no están en riesgo. Sin embargo no debe menospreciar el gran número de H_r que se registraron durante la temporada seca, lo cual podría repercutir en el estado físico y salud en general de las lagartijas al llegar a la temporada reproductora. Además como lo mostró el estudio de Herczeg *et al.* (2006), el gran número

de horas térmicamente inferiores que observamos también podría llegar a provocar un cese de la actividad durante la temporada reproductora.

Los resultados sobre la utilización de iButtons para estimar temperaturas corporales de lagartijas en laboratorio mostraron que es una técnica viable y eficiente. Una de las mayores dificultades que se tuvieron en este estudio fue la de poder obtener una muestra representativa de las temperaturas de lagartijas en campo. Capturar a una suficiente cantidad de individuos es relativamente difícil, y solo se obtienen datos muy puntuales. Además, si se toma en cuenta la logística e insumos necesarios resulta un método costoso. Una alternativa podría ser colocar iButtons a individuos en campo como ya se ha hecho en otros estudios (Robert, 2003; Angilleta & Krochmal, 2003; Truter, 2011), y obtener una gran cantidad de datos semicontinuos a lo largo del día.

En general este estudio aporta información un cambio estacional en las condiciones térmicas de hábitat de *Sceloporus jarrovii* y *Sceloporus poinsetti*, en una zona rocosa del Desierto Chihuahuense. Esta información es útil para saber cómo podrían responder estas especies y otros ectotermos ante cambios climáticos a nivel global.

Referencias

- Andrews, R. M. 1998. Geographic variation in field body temperature of *Sceloporus* lizards. *Journal of Thermal Biology* 23:329–334.
- Angilletta, M. J., T. Hill & M. A. Robson. 2002. Is physiological performance optimized by thermoregulatory behavior?: a case study of the eastern fence lizard, *Sceloporus undulatus*. *Journal of Thermal Biology*, 27:199–204.
- Angilletta, M. J. & A. R. Krochmal. 2003. The thermochron: A truly miniature and inexpensive temperature-logger. *Herpetological Review* 34: 31-32.
- Ballinger, R. E. 1973. Comparative demography of two viviparous iguanid lizards (*Sceloporus jarrovi* and *Sceloporus poinsetti*). *Ecology* 54:269-283.
- Bennett, A. F. 1980. The thermal dependence of lizard behaviour. *Animal Behaviour* 28:752–762.
- Beuchat, C. A. 1986. Reproductive influences on the thermoregulatory behavior of a live-bearing lizard. *Copeia* 1986:971–979.
- Blouin-Demers, G. & P. J. Weatherhead. 2001. Thermal ecology of black rat snakes (*Elaphe obsoleta*) in a thermally challenging environment. *Ecology* 82: 3025–3043.
- Blouin-Demers, G. & P. J. Weatherhead. 2002. Habitat-specific behavioural thermoregulation by black rat snakes (*Elaphe obsoleta obsoleta*). *OIKOS* 97:59-68.
- Brattstrom, B. H. 1965. Body temperatures of reptiles. *American Midland Naturalist* 73:376–422.
- Cooper, Jr., W. E. 2000. Effect of Temperature on Escape Behaviour by an Ectothermic Vertebrate, the Keeled Earless Lizard (*Holbrookia propinqua*). *Behaviour* 137:1299-1315.
- Cowles, R. B., & 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.
- Dawson, W. R. 1975. On the physiological significance of the preferred body temperatures of reptiles. *Perspectives of biophysical ecology* 12:443–473.
- Efron, B. 1979. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics* 7:1-26.
- Gadsden, H., C. Ortiz-Lomas, R. Gil-Martinez, S. V. Leyva-Pacheco, J. L. Estrada-Rodriguez & G. Smith. 2008. Reproductive cycle of the spiny lizard *Sceloporus jarrovii* from the central Chihuahuan Desert, Mexico. *The Herpetological Journal* 18: 205-211.

- Gadsden, H., F. J. Rodríguez-Romero, F. R. Méndez-de la Cruz & R. Gil-Martínez. 2005. Ciclo reproductor de *Sceloporus poinsettii* Baird y Girard 1852 (Squamata: Phrynosomatidae) en el centro del desierto Chihuahuense, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 21:93-107.
- Gvoždík, 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.
- Herczeg, G., A. Gonda, J. Saarikivi, J. Merilä. 2006. Experimental support for the cost-benefit model of lizard thermoregulation. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 60:405-414.
- Hertz, P. E., R. B. Huey & R. Stevenson. 1993. Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question. *American Naturalist* 142:796-818.
- Huey, R. B., & M. Slatkin. 1976. Cost and benefits of lizard thermoregulation. *Quarterly Review of Biology* 51:363-384.
- Kearney, M., R. Shine & W. P. Porter. 2009. The potential for behavioral thermoregulation to buffer "cold-blooded" animals against climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 3835-3840.
- Kour, E. L. & V. H. Hutchison. 1970. Critical thermal tolerances and heating and cooling rates of lizards from diverse habitats. *Copeia* 1970:219-229.
- Lemos-Espinal, J.A. & H.M. Smith. 2007. Anfibios y Reptiles del Estado de Chihuahua, México/Amphibians and Reptiles of the State of Chihuahua, Mexico. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- Lovegrove, B. G. 2009. Modification and miniaturization of Thermochron iButtons for surgical implantation into small animals. *Journal of Comparative Physiology* 179:451-458.
- Paranjpe, D. A., R. D. Cooper, A. Patten & B. Sinervo. 2012. Measuring Thermal Profile of Reptiles in Laboratory and Field. In A. J., Spink, F. Greico, O. E. Krips, L. W. S. Loijens, L. P. J. J. Noldus & P. H. Zimmerman (eds.), *Proceedings of measuring behavior 2012*. Utrecht, The Netherlands.
- Robert, K. A. & M. B. Thompson. 2003. Reconstructing Thermochron iButtons to reduce size and weight as a new technique in the study of small animal thermal biology. *Herpetological Review* 34: 130-132.
- Sears, M. W. & M. J. Angilletta. 2008. Evaluating the costs of thermoregulation: simulating animal movements through spatially-structured environments define cost curves for small

lizard. Society for integrative and Comparative Biology. 2008 Annual Meeting, San Antonio, Texas.

Seebacher, F. & R. Shine. 2004. Evaluating thermoregulation in reptiles: the fallacy of the inappropriately applied method. *Physiological and Biochemical Zoology* 77:688–695.

Sinervo, B., F. Mendez-De-La-Cruz, D. B. Miles, B. Heulin, E. Bastiaans, M. Villagrán-Santa Cruz, R. Lara-Resendiz, *et al.* 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*, 328: 894-899.

Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 1995. *Biometry: The Principles and Practices of Statistics in Biological Research*. WH Freeman & Co., New York.

Taylor, E. N., D. F. DeNardo & M. A. Malawy. 2004. A comparison between point- and semi-continuous sampling for assessing body temperature in a free-ranging ectotherm. *Journal of Thermal Biology* 29: 91–96.

Truter, J. C. 2011. Aspects of the thermal ecology of the group-living lizard, *Cordylus cataphractus*: A spatial and temporal analysis. Tesis de doctorado University of Stellenbosch, Stellenbosch.

Wang, J.P. & S.C. Adolph. 1995. Thermoregulatory consequences of transmitter implant surgery in the lizard *Sceloporus occidentalis*. *Journal of Herpetology* 29: 489–493.

Vitt, L. J. & S. S. Sartorius. 1999. HOBOS, Tidbits and lizard models: the utility of electronic devices in field studies of ectotherm thermoregulation. *Functional Ecology* 13: 670–674.