



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**Ecología térmica de una población de
Plestiodon brevirostris indubitus
(Squamata-Scincidae) al Noroeste del
Estado de Morelos.**

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A
OLIVIO MORENO GUTIERREZ



DIRECTOR DE TESIS: M. en C. MANUEL FERIA ORTIZ

México D.F.

Noviembre de 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“ZARAGOZA”

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE.**

Comunico a usted que el alumno **MORENO GUTIÉRREZ OLIVIO**, con número de cuenta **301241074**, de la carrera de Biología se le ha fijado el día **29** del mes de **noviembre** de 2011 a las **16:00 hrs.** para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

PRESIDENTE DR. ANTONIO ALFREDO BUENO HERNÁNDEZ

VOCAL M. EN C. MANUEL FERIA ORTIZ

SECRETARIO DR. ISAÍAS H. SALGADO UGARTE

SUPLENTE BIÓL. ALEJANDRO J. TECPA JIMÉNEZ

SUPLENTE BIÓL. CRISTÓBAL GALINDO GALINDO

El título de la tesis que presenta es: **Ecología térmica de una población de *Plestiodon brevirostris indubitus* (Squamata-Scincidae) al Noroeste del Estado de Morelos.**

Opción de titulación: tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
México, D. F., a 26 de octubre de 2011.

Dr. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
DIRECTOR

CULTURA DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
DIRECCION

RECIBI
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

VO. BU.
Dr. CARLOS CASTILLEJOS CRUZ
JEFE DE CARRERA

Índice

Introducción.....	4
Justificación.....	11
Hipótesis.....	11
Objetivos.....	12
Descripción del área de estudio.....	13
Método.....	15
Análisis estadístico.....	18
Resultados.....	21
Análisis de resultados.....	33
Conclusiones.....	47
Referencias bibliográficas.....	48

Introducción

La regulación de la temperatura en los animales, y específicamente en los lagartos es una de las temáticas sobre las cuales se continúan tejiendo muchos interrogantes. Uno de los trabajos que ha sido considerado como la base de la mayoría de estudios sobre biología termal en los lagartos es el desarrollado por Cowles y Bogert (1944). La investigación indica que los lagartos pueden regular la temperatura de su cuerpo con considerable precisión y que la eficiencia con la

cual la regulan es característica de cada especie. Además, desde 1940 se ha resaltado que, cuando nos referimos a los lagartos, el término ectotermia es más adecuado que poiquilotermia ya que el primero refleja más adecuadamente que el segundo las propiedades térmicas de éstos organismos (Cowles, 1962).

El calor metabólico producido por los ectotermos, grupo en el que se incluye a los lagartos, es relativamente bajo y gran parte del mismo se pierde rápidamente debido a la poca capacidad de estos organismos para retener su calor corporal. Como consecuencia, dependen de fuentes de calor externo para mantenerse calientes y poder realizar adecuadamente sus actividades cotidianas. Por esta razón, en el caso de organismos ectotermos, el calor ambiental (de las cuales la fuente última es el sol) es más importante que el metabólico y la manera con la cual intercambian calor con su ambiente tiene un efecto profundo en otros aspectos de su ecología.

Muchas especies de lagartijas regulan efectivamente la temperatura de sus cuerpos (termorregulación), a través de una serie de mecanismos fisiológicos y conductuales complementarios. Pueden mantener una temperatura corporal relativamente alta haciendo uso de diferentes fuentes de calor. Muchas especies se calientan principalmente a través de la radiación solar (heliotermia), mientras que otras aprovechan el calor que se desprende de su sustrato (tigmotermia) (Pianka y Vitt, 2003). Se dice que un reptil es un termorregulador activo si realiza

actividades o procesos con el fin de regular su temperatura corporal; en caso contrario se dice que es termoconformista (Zug *et al.*, 2001).

Al igual que en la mayoría de los ectotermos, las lagartijas no sólo deben preocuparse por adquirir calor de fuentes externas para elevar su temperatura corporal, sino por alcanzar y mantener las temperaturas de su cuerpo dentro de un intervalo óptimo, dentro de cual puedan realizar eficientemente sus funciones vitales, tales como reproducción, crecimiento, alimentación y movilidad (Huey, 1982). Muchas especies de lagartijas mantienen la temperatura de su cuerpo dentro de intervalos óptimos debido principalmente a ajustes conductuales como: (i) la selección de microhábitat térmicamente apropiados, (ii) el ajuste de posturas corporales que tienden a alterar los índices de calentamiento o enfriamiento y (iii) el traslado entre parches de sol y sombra (Huey, 1982; Grant y Dunham, 1988; Bauwens *et al.*, 1996, 1999). Sin embargo no todas las especies muestran la misma preferencia en su temperatura corporal, sino que cada una selecciona un intervalo apropiado en el cual realiza con mayor eficiencia su actividad (Avery, 1982; Browker *et al.*, 1986.). Lo anterior sucede principalmente debido a diferencias en el uso de los distintos microhábitats existentes en el medio. En los diferentes microhábitats la “oferta térmica” disponible es diferente, como consecuencia de la inercia térmica del sustrato que lo compone, la estructura de la vegetación predominante y/o la temperatura ambiental (Hertz *et al.*, 1993).

Uno de los aspectos más importantes en estudios sobre termorregulación es la serie de temperaturas corporales que se registran en campo (Avery, 1978), la cual si se obtiene de organismos activos, se interpreta como su intervalo de temperaturas de actividad (Avery y Bond, 1989), y puede o no puede coincidir con el intervalo dentro del cual los organismos realizan mejor sus actividades vitales. En la mayoría de las especies el intervalo de temperaturas de actividad es estrecho (estenotérmicas), pero en otras es amplio (euritérmicas).

La termorregulación tiene como objetivo mantener la temperatura corporal dentro de límites relativamente estrechos (precisión en el proceso

termorregulatorio). Por otro lado, como se señaló arriba, el intervalo de temperaturas que mantiene una lagartija puede coincidir en algún grado con el intervalo de temperaturas dentro del cual sus funciones vitales se realizan de manera óptima (intervalo de temperaturas óptimas). Sin embargo, dado que la termorregulación involucra costos, tanto de tiempo como de energía, no siempre es posible alcanzar temperaturas óptimas. La exactitud del proceso termorregulatorio, o, dicho de otra manera, el que tan estrechamente las temperaturas corporales que se mantengan coincidan con el intervalo de temperaturas en el que se realizan mejor las actividades vitales, depende principalmente de las propiedades térmicas de su ambiente (Hertz et al. 1993). Evidentemente, si la termorregulación es muy costosa, ya sea debido a que el ambiente es térmicamente inapropiado o a alguna otra circunstancia (V. gr., riesgo de depredación) puede ser impráctico intentar alcanzar temperaturas corporales óptimas. En estos casos puede convenir ser un termorregulador inexacto y realizar actividades a pesar de que las temperaturas corporales queden fuera del intervalo óptimo.

Varios autores han estudiado el comportamiento termorregulatorio de las lagartijas. Se ha notado que mientras algunas especies regulan su temperatura corporal de manera muy precisa (Ruibal 1961, Hertz et al. 1993, Rummery et al. 1994), manteniéndola dentro de intervalos muy estrechos, otros son prácticamente termoconformistas y su temperatura corporal tiende a variar con la temperatura del ambiente (Christian 1998, Sartorius et al. 2002). La precisión de la regulación de la temperatura corporal puede variar dentro de estos dos extremos. Debe notarse, sin embargo, que la manutención de la temperatura corporal dentro de intervalos estrechos no implica necesariamente que el reptil este regulando activamente su temperatura corporal. La temperatura corporal de una lagartija puede variar muy poco simplemente porque la temperatura del ambiente varía poco. Así mismo, el hecho de que la temperatura corporal varíe mucho no implica que el reptil no regule activamente la temperatura de su cuerpo. Simplemente la heterogeneidad

térmica del ambiente puede dificultar o hacer impráctica la termorregulación precisa.

La termorregulación en climas fríos, al igual que en la alta montaña, es particularmente costosa. Las lagartijas que ocupan estos hábitats deben dedicar una gran parte de su tiempo a la termorregulación (Pearson y Bradford 1976, Beuchat 1989, Van Damme et al. 1989). Las lagartijas de climas fríos son muchas veces incapaces de alcanzar temperaturas óptimas y pueden experimentar una reducción de su capacidad de carrera siendo vulnerables a depredadores (Hertz *et al.*, 1993, Van Damme *et al.* 1990, Bauwens *et al.* 1990).

Otro de los factores importantes en el estudio de la termorregulación es la selección del microhábitat. Numerosas especies de saurios muestran preferencias por determinadas características estructurales del hábitat (Heatwole 1977, Schoener 1977) y en algunas especies estas preferencias están asociadas con caracteres morfológicos aparentemente adaptativos (Moermond 1979, Pounds 1988). La eficiencia con la que puede ser usado un hábitat depende de los modos de locomoción empleados y de las características morfológicas desarrolladas para usar el microhábitat preferido (Pounds 1988, Losos 1990). La selección de microhábitat es un componente importante de la termorregulación de ectotermos, ya que deben evitar tanto el sobrecalentamiento como temperaturas corporales extremadamente bajas, manteniendo una temperatura corporal en la que puedan desarrollar sus actividades (Huey y Kingsolver., 1989). Es por ello que la selección de un refugio térmicamente “malo” o “bueno” es importante, ya que puede haber efectos negativos por una mala elección del mismo para termorregular (Arad, 1995). Además de las características de los refugios, el tamaño corporal es importante para el comportamiento termorregulatorio, ya que la tasa de calentamiento y enfriamiento están directamente relacionadas al mismo (Carothers *et al.*, 1997).

Debido a la importancia del estudio de la ecología térmica en reptiles, Hertz *et al*, 1993, han propuesto un método para evaluar la eficiencia en la termorregulación (E) en ectotermos, con base en la calidad térmica del ambiente y la precisión del organismo para mantener su temperatura corporal (Tc) dentro de los intervalos de temperatura preferida (Tsel). Este método ha facilitado la caracterización cualitativa y cuantitativa de la termorregulación en diversas especies de lagartijas en temas como la selección del hábitat (Christian y Weavers, 1996), repartición de recursos (Hertz, 2004) y termorregulación nocturna (Kearney y Predavec, 2000).

La precisión, exactitud y eficiencia con la que una especie en particular termorregula, está estrechamente ligada a la calidad térmica del ambiente, siendo la termorregulación especialmente importante en ambientes de baja calidad térmica (Hertz, *et al* 1993; Shine y Kearney, 2001). Por otro lado, en ambientes térmicamente heterogéneos, la termorregulación se llevará a cabo de manera más eficiente dado que el individuo cuenta con más alternativas para la obtención del calor (Huey y Slatkin, 1976), mientras que en ambientes con temperaturas cercanas a la temperatura óptima del organismo, la termorregulación será más efectiva y requerirá un menor esfuerzo, dedicando la energía y el tiempo a otras actividades (Shawn *et al.*, 2002). En ambientes tropicales, térmicamente estables, se espera que la termorregulación no sea tan importante, ya que la especie tiene una continua disponibilidad de altas temperaturas durante todo el año y esto facilita el acceso a una amplia variedad de microclimas (Shine y Madsen, 1996).

El presente trabajo se enfocó en *Plestiodon indubitus* (figura 1), una lagartija vivípara que habita en bosques de clima templado, principalmente de pino y encino. Previamente, esta especie se consideraba como un subespecie de *Plestiodon brevirostris* (*sensu lato*). Sin embargo, recientemente Feria *et al.*, (2011), evaluaron el estado taxonómico de esta especie y demostraron que una de sus subespecies, *P. b. indubitus*, realmente representa dos especies distintas, una que se distribuye en la parte occidental del Eje Volcánico Transversal, en el sur de

Jalisco y Este de Colima, y otra que se distribuye en la parte central de esta misma sierra (Brandley et al., 2011). En consideración a los hallazgos de estos autores en este trabajo consideraremos a la población bajo estudio como *P. indubitus*, dado que la especie del centro del Eje Volcánico incluye la localidad tipo de la tradicional *P. b. indubitus* (*sensu lato*).

Plestiodon indubitus es una especie relativamente pequeña, mide alrededor de 6.5 cm de longitud hocico-cloaca (LHC), la longitud de la cola es 1.2 a 1.4 veces mayor que la longitud del cuerpo. La cabeza es ligeramente alargada y triangular, sus extremidades son delgadas y relativamente cortas. Presenta un color café oscuro en el dorso y una banda lateral oscura que finaliza aproximadamente en el primer tercio de la cola, esta última presenta un color azul metálico. Mientras *P. indubitus* está activa se desplaza entre la hierba o en la hojarasca que se acumula en el suelo y comúnmente se refugia bajo rocas, troncos o restos de corteza. *Plestiodon indubitus* es endémica de México y, como se señala arriba, se distribuye en la parte central del Eje Volcánico Transversal, en Guerrero, México, Distrito Federal y Morelos (Dixon, 1969).

A pesar de ser una especie relativamente abundante, excepto por los trabajos taxonómicos de Taylor (1935) y Dixon (1969), y algunas notas que hacen referencia a aspectos reproductivos de la especie (Axtell, 1960; Goldberg, 2002; Feria et al., 2007; López-Hernández et al., 2008) hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio que aborde otros aspectos de su biología.



Figura 1. *Plestiodon indubitus* (Foto: Manuel Feria Ortiz)

Justificación

Desde el trabajo pionero de Cowles y Bogert (1944), en donde reportaron que las lagartijas de desiertos regulan activamente su temperatura corporal, la termorregulación se ha convertido en uno de los temas principales dentro de la herpetología. Actualmente el conocimiento ha crecido considerablemente. Sin embargo, aún hay especies que desde el punto de vista de su termorregulación, no han sido estudiadas en absoluto. Tal es el caso de *Plestiodon indubitus* la cual a pesar de ser una especie ampliamente distribuida y localmente abundante ha sido poco estudiada.

Los parámetros de la biología térmica constituyen una base importante para la generación de hipótesis acerca de los factores que intervienen en los modelos de historias de vida. La temperatura corporal de los lagartos es un reflejo del hábitat que usan, de la táctica de alimentación y del tiempo de actividad, de manera que resulta fundamental el conocimiento de las relaciones térmicas para contribuir a la interpretación de la utilización del espacio físico-temporal.

Hipótesis

Plestiodon indubitus es de hábitos secretivos y, dado que se trata de una especie ectoterma, se espera que la temperatura de los sitios en los que se refugia o realiza sus actividades cotidianas tenga una influencia crítica en su temperatura corporal. Asimismo, ya que generalmente es costoso mantener temperaturas corporales óptimas en hábitats “ocultos”, se espera que presente una baja eficiencia en su comportamiento termorregulatorio.

Objetivo General

- Determinar si *Plestiodon indubitus* regula de alguna manera su temperatura corporal y de ser así evaluar la eficiencia con la que lo hace.
- **Objetivos Particulares**
- Determinar si *P. indubitus* se comporta o no como un ectotermo termoconformista.
- Detectar si existen diferencias en el comportamiento térmico entre sexos, hembras preñadas y no preñadas y adultos y juveniles de *P. indubitus*.
- Evaluar si la calidad térmica del ambiente es o no adecuado para los requerimientos térmicos de la especie.
- Describir el microhábitat utilizado por los organismos.

Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza al norte del poblado de Tres Marías, Huitzilac. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1987), para el municipio de Huitzilac encontramos un clima Templado subhúmedo, con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos C(w)(w)b, con temperatura media anual entre 5 y 12°C, la temperatura del mes más frío oscila entre -3 y 18°C, y la del mes más caliente entre 6.5 y 22°C, con verano fresco y largo. La precipitación media anual oscila entre 1200 a 1500mm³. La temporada seca abarca de Octubre a Febrero seguida por una temporada pre-pluvial de Marzo a Mayo, y la temporada de lluvias abarca de Junio a Septiembre (ver figura 3).

La vegetación del municipio corresponde a bosque de pino y bosque de pino encino. Predominan especies de *Pinus montezumae* (Ocote blanco), *Pinus leiophylla* (Chino), *Quercus rugosa* (Quebracho), *Quercus laurina* (Laurelillo) y *Quercus magnoliifolia* (Encino). En las laderas húmedas son comunes las plantas del género *Senecio*, pero también son importantes las especies *Arctostaphylos sp*, *Fuchsia calaminta* y *Symphoricarpus microphyllus*. Como representantes del estrato herbáceo, son muy abundantes: *Espicampes sp*, *Lopezia sp*, *Castilleja sp*, *Lupinos sp*. y *Geranium sp*. La topografía general del área es de una pendiente suave con suelos pobremente drenados de origen volcánico.

Los puntos de muestreo (figura 2) están ubicados en zonas cercanas a la carretera libre de Tres Marías a Cuernavaca. Las colectas se realizaron en áreas abiertas donde abundan rocas poco cimentadas, ya que éstas sirven como refugios temporales durante las horas de actividad de la especie (López-Hernández et al., 2008). Se escogieron tres puntos con estas características cuyas coordenadas son; 19° 01' 45" N y 99° 13' 11" O (Km 56), 19° 01' 40.3" N y 99° 12' 37.6" O (Km 58) y 19° 01' 03" N y 99° 13' 10.6" O (Km 61) (ver figura2). La altitud varía entre los 2419 y 2600m.

Dentro de la zona de estudio *P. indubitus* es simpátrida con *Sceloporus grammicus*, *S. aeneus* y *S. torquatus*, aunque también son comunes especies como *Conopsis biserialis* y *Crotalus triseriatus*.

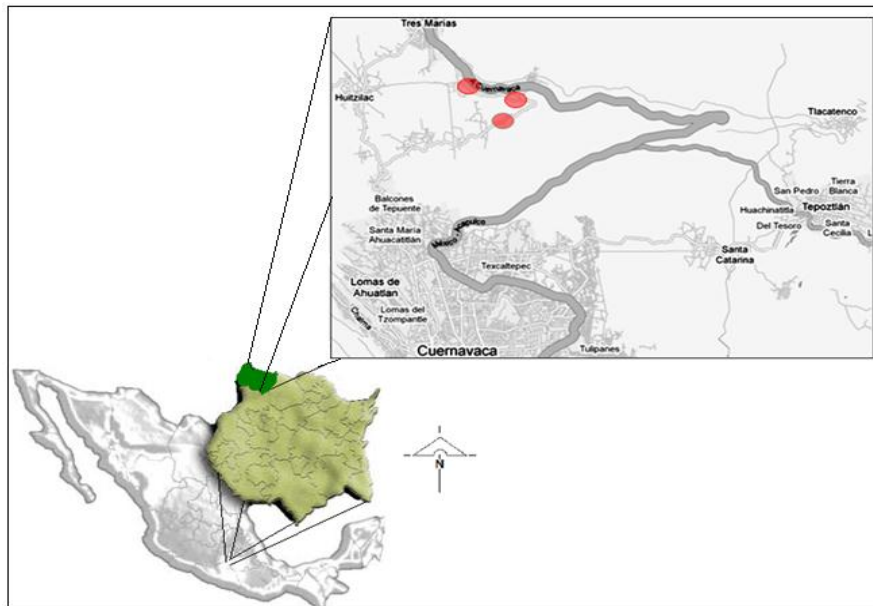


Figura 2. Ubicación del área de estudio. Los puntos rojos indican los sitios de recolecta de ejemplares.

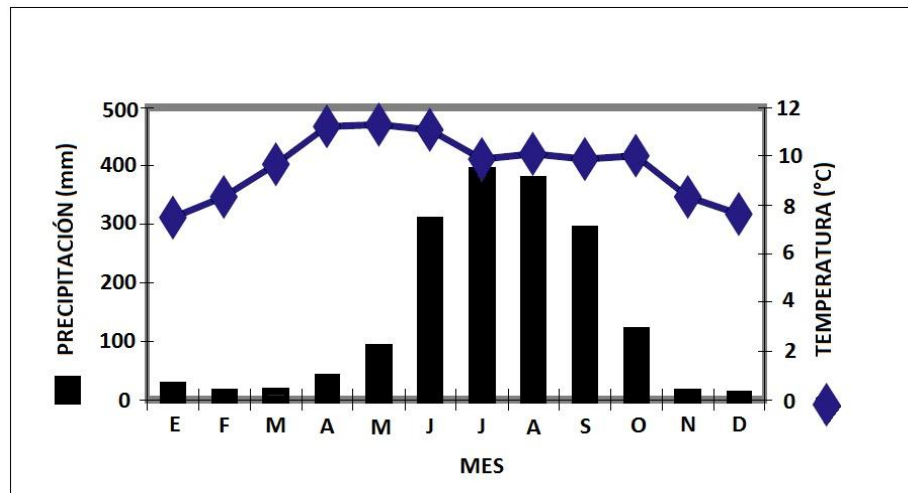


Figura 3. Datos de temperatura y precipitación para la zona de estudio. Universidad Autónoma del estado de Morelos.

Método

Trabajo de campo

Se realizaron visitas mensuales al área de estudio, de febrero de 2009 a mayo de 2010. El método que se utilizó para la obtención de organismos fue la búsqueda en microhábitats potenciales de *P. indubitus*. Para este fin se hicieron recorridos a pie durante el día (de las 10:00 a las 16:00 horas) y se levantaron todas las rocas, restos de madera y corteza donde se sospechaba la presencia de *P. indubitus*. Se capturaron a mano todos los ejemplares encontrados. Una vez capturados, a cada organismo se le registró: (i) hora y fecha de captura, (ii) longitud hocico cloaca (LHC), con ayuda de un calibrador tipo vernier Trupper® con precisión de ± 0.02 mm, (iii) temperatura corporal (T_c), (iv) temperatura del sustrato (T_s) (temperatura sobre el sustrato ocupado por la lagartija) y (v) una temperatura operativa (T_o) (temperatura en sitio fuera del refugio por donde pudo pasar la lagartija). Las temperaturas se registraron con ayuda de un termómetro Fluke® de lectura rápida con precisión de 0.1° C. Para el registro de la temperatura corporal se introdujo el termopar medio centímetro dentro de la cloaca y se esperó unos segundos hasta que la lectura en el display se estabilizara. Se excluyeron de los registros de temperatura todas aquellas lagartijas que requirieron un esfuerzo de captura mayor a 2 minutos, o bien una manipulación que rebasara este periodo de tiempo.

Se registró el tipo de refugio utilizado por las lagartijas. Se consideraron 7 tipos de refugios: (i) rocas, (ii) asfalto, (iii) concreto (iv) cortezas, (v) restos de madera, (vi) otros, y (vii) en actividad, si se encontró al organismo fuera de cualquier refugio.

Para obtener datos relacionados con el microhábitat se procedió de la siguiente manera: Se colocó un objeto de dimensiones conocidas sobre el refugio donde se encontraba el organismo. En seguida se tomó una fotografía digital del microhábitat a una distancia de 1.5 m con respecto al refugio involucrado, procurando que en cada foto el objeto quedara en el centro de la misma. La foto

se tomó con una cámara SONY® de 10 MP. Todas las fotos se procesaron como se indican más abajo.

Fase de laboratorio

Con el fin de estimar el intervalo de temperaturas preferidas (Tsel) en condiciones controladas, y utilizarlo para evaluar la eficiencia termorreguladora de *P. indubitatus*, se trasladó al laboratorio una muestra de 40 individuos (4 organismos por mes de febrero a noviembre), los cuales se separaron en categorías; adultos (machos, hembras y hembras preñadas) y juveniles. Se consideraron adultos aquellos organismos que igualaron o rebasaron los 54 mm de LHC, por ser este el tamaño mínimo en el cual las hembras presentan folículos agrandados o huevos en oviducto (Lagunas-Cortez, en preparación).

Ya en laboratorio y con el fin de registrar la Tsel de los individuos, se utilizó la metodología sugerida por Hertz *et al* (1993). Se formó un gradiente térmico de tal manera que cada individuo pudiera seleccionar la temperatura o temperaturas de preferencia dentro del intervalo ofrecido. Antes y entre cada experimento los organismos se mantuvieron en un terrario acondicionado con sustrato, rocas, bloques de madera, simulando su ambiente natural y fueron alimentados con larvas de tenebrio (*Tenebrio molitor*) y agua.

Para crear el gradiente térmico se utilizó un terrario de vidrio con dimensiones de 100x40x50 cm (largo x ancho x alto) el cual se dividió en dos secciones longitudinales o carriles con el fin de hacer dos lecturas simultáneas, y de este modo evitar posibles interacciones entre individuo. Se colocó una delgada capa de sustrato (tierra de hoja) de 3 mm de espesor. La capa fue delgada con el fin de evitar que los organismos se enterraran. Se colocaron dos focos de 300 watts (uno para cada carril) en un extremo del terrario a una altura de 20 cm por encima del sustrato; al otro extremo del terrario se colocó hielo en la parte inferior, así se obtuvo un gradiente que fue desde los 15 hasta los 45°C (figura 4).

Se permitió que los organismos se aclimataran dos horas antes de tomar las lecturas; el intervalo de Tsel se obtuvo registrando la temperatura corporal

cada 30 minutos con un termómetro Fluke® de lectura rápida con precisión de 0.1° C durante un periodo de 2 horas; para cada experimento se realizó una repetición tomando como Tsel la media de los registros de temperatura para cada organismo. De acuerdo con las recomendaciones de Hertz *et al.*, (1993), se eliminaron los valores extremos de los registros individuales de Tsel (25% de los datos), esto es con el fin de evitar que el intervalo de Tsel sea sensible a valores extraordinarios obteniendo así un intervalo de temperatura más confiable. Se obtuvo un intervalo de temperatura seleccionada para cada categoría.

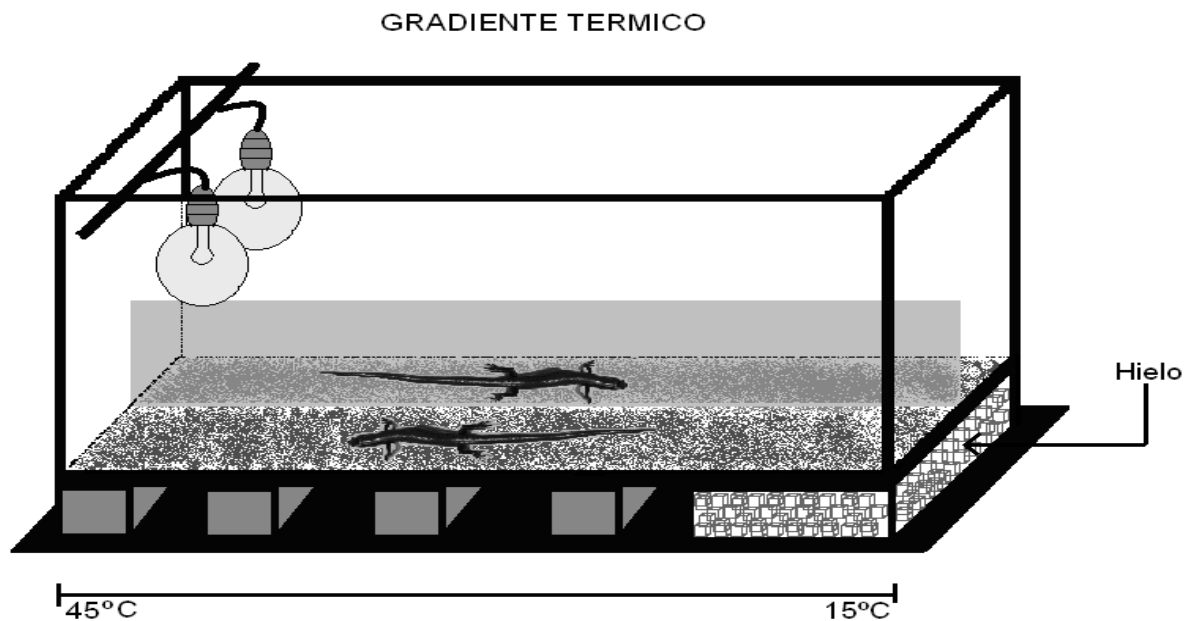


Figura 4. Gradiente térmico empleado para estimar el intervalo de temperaturas corporales preferidas para *P. indubitus*.

Con el fin de registrar los datos relacionados con el micro-hábitat, todas las fotografías tomadas en campo se visualizaron en el software Corel Painter x versión 10.0.046. Se utilizó la rejilla 10x10 mm incluida en este programa para apreciar mejor las dimensiones relativas de los objetos presentes en cada foto. En seguida, con la ayuda del objeto de dimensiones conocidas incluido en las fotos, se delimitó un área de aproximadamente un metro cuadrado. Finalmente, con el fin de evaluar en qué medida los organismos utilizan refugios cuyo alcance representa algún peligro para ellos, se calcularon porcentajes de suelo desnudo y con escombros (rocas, hierba, etc.) y, con base en estos datos, se consideraron diferentes categorías de microhábitat. Estas fueron: (i) oculto, si únicamente del 0 al 25% del metro cuadrado de terreno que rodeaba al refugio (delimitado con ayuda de Corel Painter) consistía de suelo desnudo, (ii) moderadamente oculto, si el área de terreno señalada incluía del 26 al 50% de suelo desnudo, (iii) moderadamente expuesto, si del 51 al 75% era suelo desnudo y (iv) expuesto, si la mayor parte del área (76 al 100%) era suelo desnudo.

Análisis estadístico

Para determinar si existen diferencias significativas entre la temperatura corporal de machos, hembras, hembras preñadas y juveniles se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) $p < 0.05$. Previo a este análisis se evaluó, mediante un análisis de regresión, la posibilidad de que la temperatura corporal dependiera del tamaño corporal. Dado que no hubo tal relación se utilizó un ANOVA. También se realizó un análisis de varianza para las Tsel en laboratorio, con el fin de encontrar si existen diferencias significativas entre las categorías.

Evaluación del comportamiento térmico

Se emplearon dos métodos para evaluar si *P. indubitus* exhibe o no actividades termorregulatorias, el criterio de Huey y Slatkin (1976) y el método de Hertz *et al.* (1993).

Huey y Slatkin (1976) recomendaron el uso de técnicas de regresión para evaluar la existencia y grado de comportamiento termorregulatorio. Mencionaron que una especie es termorreguladora cuando el valor de la pendiente en la regresión lineal de la T_c sobre la T_s es cero o cercana a este; por el contrario cuando el valor de la pendiente es igual o cercana a uno podemos considerar a la especie como termoconformista. Valores entre cero y uno serían indicativos de la habilidad del reptil para regular su temperatura corporal. Se realizaron dos análisis de regresión: uno T_c vs T_s y otro T_c vs T_o . En cada caso se obtuvo la recta de regresión por el método de mínimos cuadrados y se evaluó el ajuste de la misma mediante el coeficiente de determinación.

El método de Hertz *et al.*, (1993) permite una evaluación más rigurosa del comportamiento térmico de un reptil, ya que fue diseñado para evaluar la eficiencia del proceso termorregulatorio.

Su aplicación se basa en tres registros de temperatura: (i) la temperatura corporal de campo (T_c); (ii) la temperatura operativa (T_o) y (iii) el intervalo de temperaturas corporales seleccionadas (T_{sel}). Las temperaturas corporales seleccionadas en laboratorio nos brindan un panorama más amplio de cuáles serían las temperaturas corporales que los organismos mantendrían en campo bajo la suposición de que no existieran restricciones para alcanzar temperaturas óptimas para sus actividades.

Asimismo, requiere del cálculo de dos índices, d_b y d_e . El índice d_b mide el grado con el cual los organismos experimentan temperaturas corporales fuera del intervalo de temperaturas seleccionadas (exactitud de la termorregulación). Se calcula como la diferencia en valor absoluto entre el valor de T_c y T_{sel} ; si la T_c se encontró por debajo del intervalo de T_{sel} , la diferencia fue con respecto al valor

mínimo del intervalo; por el contrario si la T_c estuvo por arriba del intervalo, la diferencia fue con respecto al valor máximo del mismo. Cuando la T_c cae dentro del intervalo de T_{sel} , d_b es igual a cero. El valor promedio de d_b es un reflejo de que tanto los ectotermos experimentan una T_c fuera del intervalo de temperaturas seleccionadas (exactitud en termorregulación), donde los valores bajos de d_b (cerca de cero) indican una alta exactitud por parte del organismo. Por el contrario, valores recurrentes de $d_b > 0$ sugieren que los organismos son incapaces de alcanzar temperaturas corporales que estén dentro del intervalo en el cual realizan mejor sus actividades vitales.

El índice d_e (calidad térmica del hábitat) es la medida de la desviación de la T_o con respecto al intervalo de T_{sel} y se calcula como la diferencia en valor absoluto entre la T_o y el intervalo de T_{sel} . Se calculó como sigue: si la T_o estuvo por debajo del intervalo de T_{sel} la diferencia fue con respecto al valor mínimo del mismo; por el contrario, si la T_o estuvo por arriba del intervalo de T_{sel} la diferencia fue con respecto al valor máximo correspondiente; cuando la T_o cae dentro del intervalo de T_{sel} , d_e es igual a cero. El valor promedio de d_e es una medida cuantitativa de la calidad térmica del hábitat desde la perspectiva del organismo, donde valores altos indican una baja calidad térmica y valores bajos (cerca de cero) una alta calidad térmica.

Posteriormente, con los valores promedio de d_b y d_e se calculó la eficiencia en la termorregulación (E) mediante la ecuación $E=1-(d_b / d_e)$, en donde una E cercana o igual a cero indica una baja eficiencia en la termorregulación, lo que sugiere que los organismos se comportan principalmente como termoconformistas; una E cercana a 1 indica una alta eficiencia termorreguladora del organismo.

Descripción del microhábitat

Para cada sexo y categoría de edad, se calcularon las frecuencias con las cuales se utilizaron los diferentes tipos de refugios. Se realizaron pruebas de Chi cuadrada con el fin de detectar diferencias significativas (sexuales y entre categorías de edad) en la frecuencia con la que se usaron los diferentes tipos de refugios. Asimismo, para cada sexo y categoría de edad se calculó la frecuencia con la cual se utilizó cada uno de los cuatro tipos de microhábitat.

Las pruebas estadísticas se realizaron con la ayuda del programa Statistica Vs 7.0. En todas las pruebas las hipótesis nulas se rechazaron con un nivel de significancia menor o igual a 0.05.

Resultados

Se tomaron registros de temperaturas de un total de 158 organismos, de los cuales 43 fueron machos (54.02-70.88 mm LHC), 31 hembras (54.88-71.74 mm LHC), 30 hembras preñadas (54.02-73.66 mm LHC) y 54 juveniles. (30.46-53.5 mm LHC), La tabla 1 muestra los resúmenes estadísticos para las temperaturas corporales de éstas cuatro categorías. La temperatura corporal promedio de las hembras preñadas fue significativamente más alta que la de los machos y hembras no preñadas ($sc = 12.92$; $gl = 154$; Figura 5 y Tablas 1 y 2). La temperatura corporal promedio de los juveniles, similar al de las hembras preñadas, fue relativamente alta. De hecho, no hubo diferencias significativas entre las temperaturas corporales promedio de estas dos categorías (Tabla 2). Sin embargo, si bien los juveniles tuvieron temperaturas corporales significativamente más altas que las hembras no preñadas, no hubo diferencias significativas entre las temperaturas corporales de machos y juveniles (tabla 2).

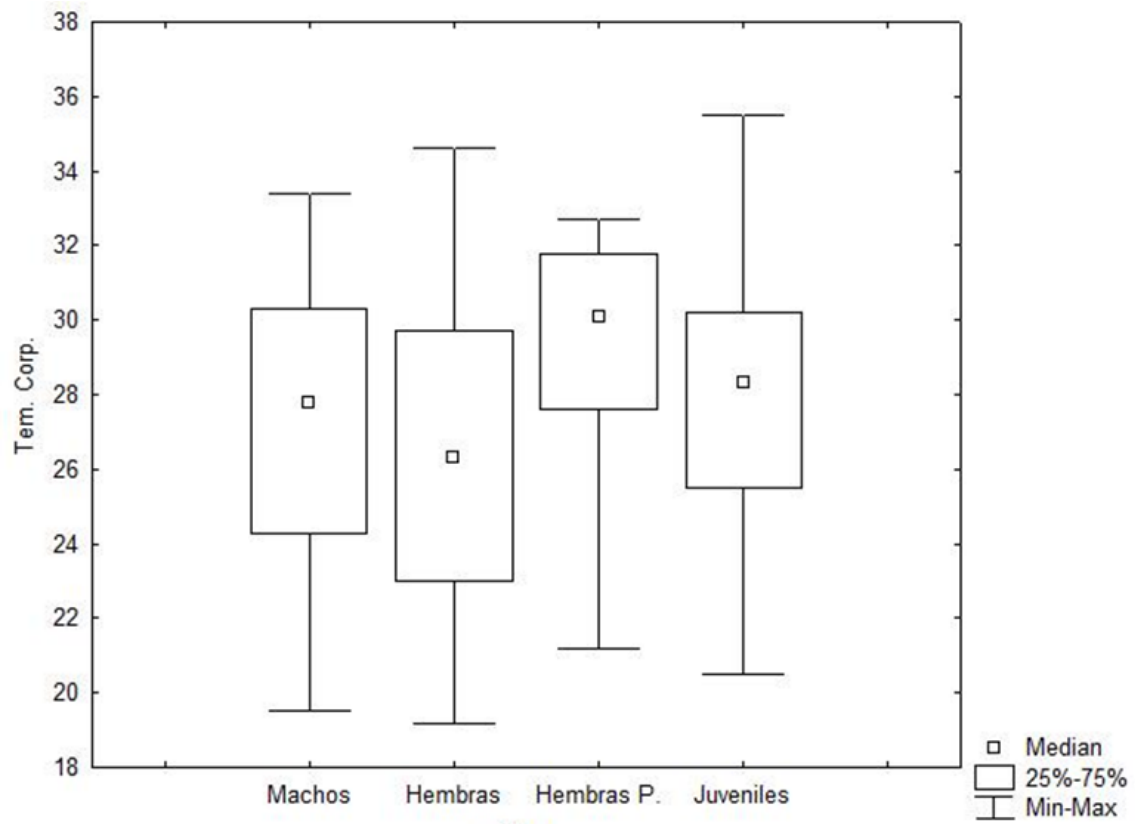


Figura 5. Diagrama de caja para la temperatura corporal de las cuatro categorías de *P. indubitus*.

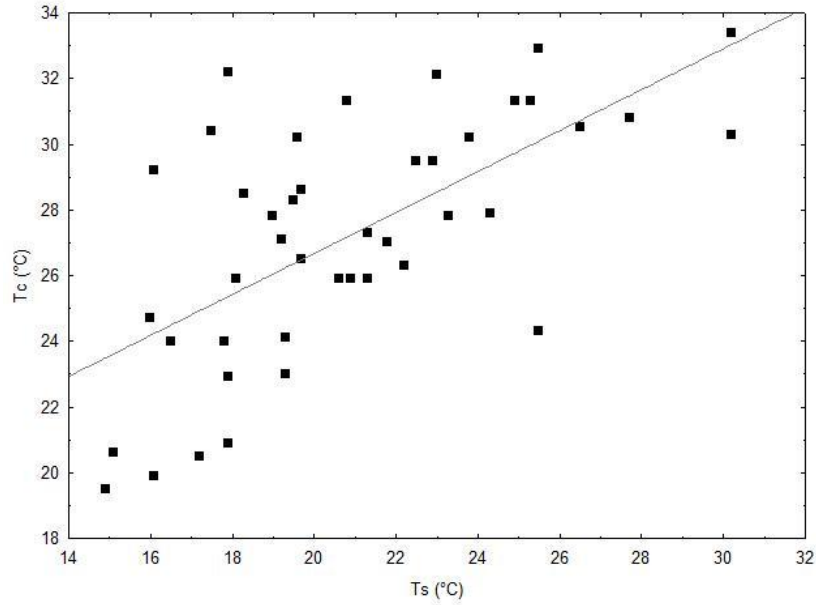
Tabla 1. Resúmenes estadísticos de las temperaturas corporales (T_c) de las diferentes categorías de *P. indubitus*. Se proporcionan el promedio \pm 1 ES y los intervalos de variación (entre paréntesis). N = tamaño de muestra

	N	T_c ($^{\circ}\text{C}$)
Machos	43	27.21 \pm 0.56 (19.5-33.4)
Hembras	31	26.22 \pm 0.69 (19.2-34.6)
Hembras P.	30	29.37 \pm 0.56 (21.2-32.7)
Juveniles	54	28.05 \pm 0.48 (20.5-35.5)

Tabla 2. Prueba de contraste de Fisher (sc = 12.92; gl = 154). Los valores muestran la significancia (p) menor a 0.05 para las diferencias entre las temperaturas corporales promedio de las parejas formadas con las cuatro categorías examinadas. Los valores resaltados indican diferencias estadísticamente significativas.

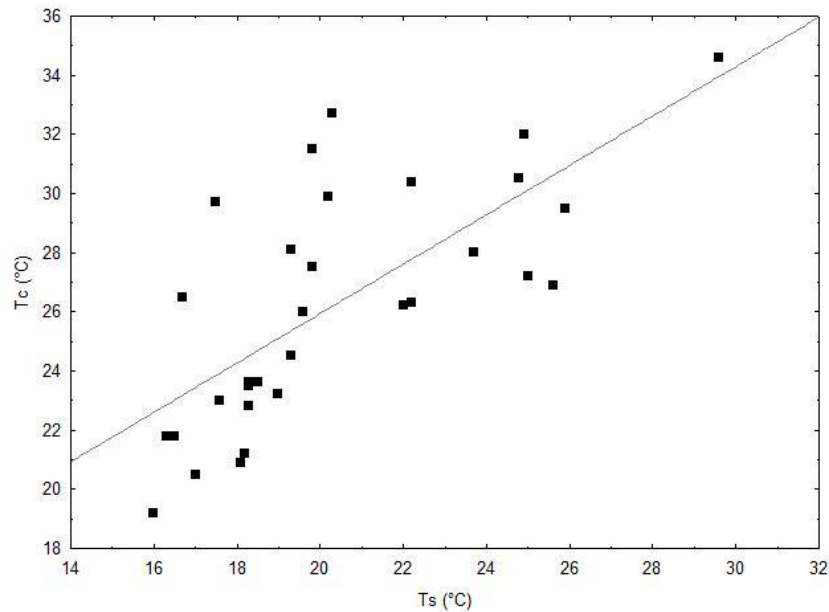
	Machos	Hembras	Hembras P.	Juveniles
Machos				
Hembras	0.246678			
Hembras P.	0.012575	0.000815		
Juveniles	0.256925	0.025994	0.107997	

Se encontró una relación positiva entre la Tc de los machos y la de su sustrato (figura 6). La pendiente de la línea de regresión (0.62) fue más cercana a uno que a cero. De igual manera se encontró una relación positiva entre la Ts y ya sea la Tc de las hembras no preñadas o la de los juveniles. Como en la relación anterior, en estos dos casos la pendiente de la línea de regresión fue más cercana a uno que a cero (Tablas 7 y 8). Por otro lado, la pendiente de la línea correspondiente a las hembras no preñadas (0.82) fue más alta que las correspondientes a machos o juveniles (0.70 en ambos casos). En los tres casos el porcentaje de variación explicada por el modelo fue similar (Tablas 6, 7 y 8). Por otro lado, la Tc de las hembras preñadas no presentó una relación significativa con respecto a la Ts del microhábitat (figura 9, $r=0.3085$, $p=0.0972$).



$$T_c = 0.6236T_s + 14.2032, r = 0.7071, p = 0.000003; n = 43$$

Figura 6. Diagrama de dispersión y línea de regresión entre la Temperatura corporal (T_c) y la Temperatura del sustrato (T_s) para los machos de *P. indubitus* en Huitzilac, Morelos. Se encontró una correlación positiva y significativa.



$$T_c = 0.835T_s + 9.247, r = 0.7071, p = 0.000009; n = 31$$

Figura 7. Diagrama de dispersión y línea de regresión entre la Temperatura corporal (T_c) y la Temperatura del sustrato (T_s) para las hembras no preñadas de *P. indubitus* en Huitzilac, Morelos. Se encontró una correlación positiva y significativa.

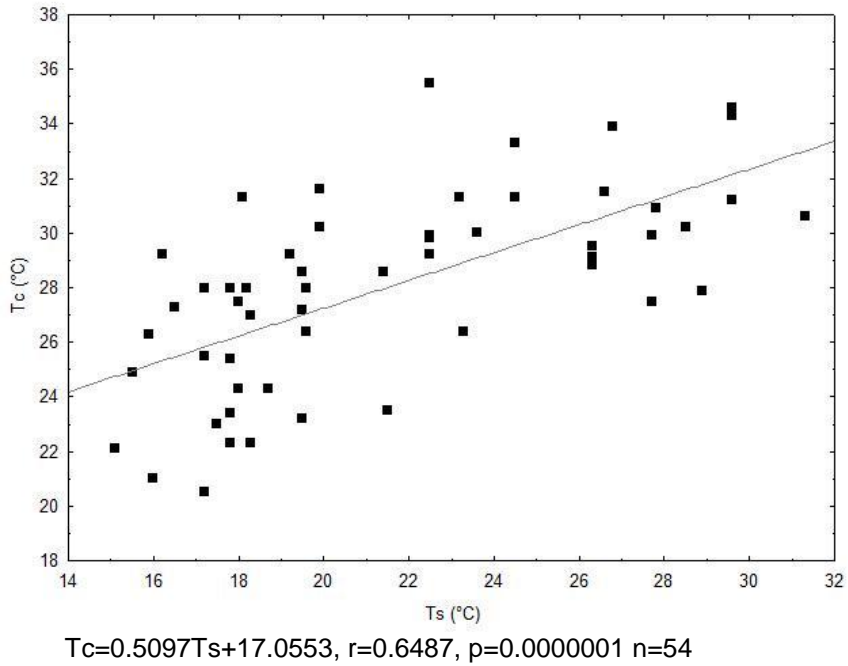


Figura 8. Diagrama de dispersión y línea de regresión entre la Temperatura corporal (T_c) y la Temperatura del sustrato (T_s) para los juveniles de *P. indubitus* en Huitzilac, Morelos. Se encontró una correlación positiva y significativa

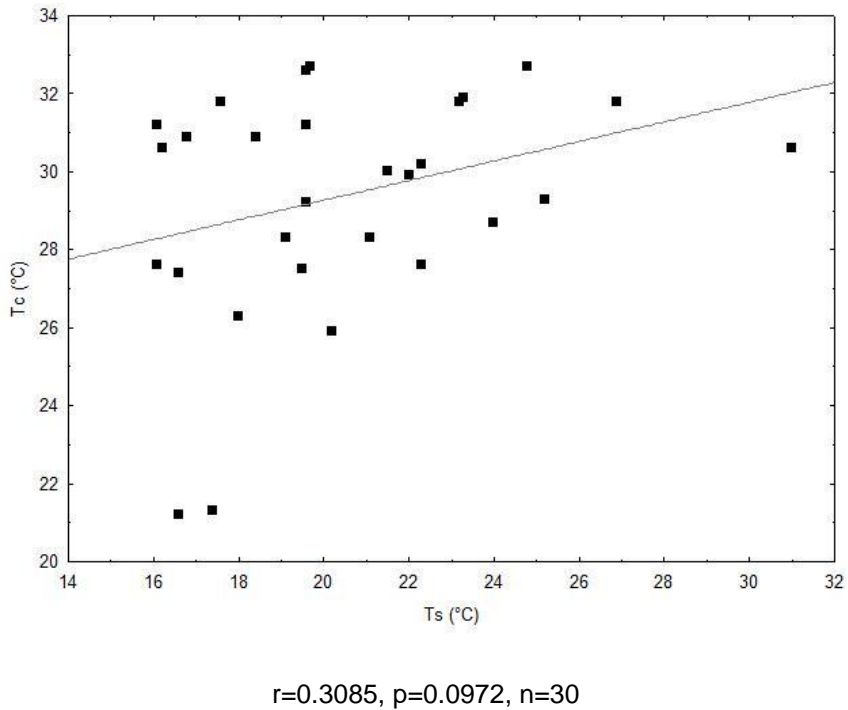


Figura 9. Temperatura corporal (T_c) de hembras preñadas vs Temperatura del sustrato (T_s) en el que se encontraron estas lagartijas. No existe una relación estadísticamente significativa.

Eficiencia térmica

La tabla 3 muestra los resúmenes estadísticos para las temperaturas seleccionadas (Tsel), los índices de calidad térmica (d_e), de precisión (d_b), y de eficiencia térmica (E) para cada categoría.

De la misma manera que en las temperaturas corporales registradas en campo, las hembras preñadas tuvieron Tsel significativamente más altas. Los valores de Tsel presentaron diferencias significativas en las categorías de hembras preñadas con respecto a machos y hembras no preñadas ($sc = 1.2692$, $gl = 36$); también se encontró una diferencia estadísticamente significativa en juveniles con respecto a hembras no preñadas (ver tabla 4).

Tabla 3. Intervalos de temperaturas corporales seleccionadas (Tsel) y resúmenes estadísticos ($\bar{x} \pm ES$) para los índices de exactitud (d_b) y calidad térmica (d_e). También se muestra el valor de eficiencia térmica (E).

Categoría	Tsel (°C)	(d_b)	(d_e)	(E)
Machos	31.16-36.1	4.09 ± 3.5	7.22 ± 4.5	0.43
Hembras	33.55-35.45	7.35 ± 3.9	10.44 ± 4.5	0.29
Hembras P	30.71-32.93	1.76 ± 2.5	4.45 ± 3.9	0.61
Juveniles	33.1-36.1	4.39 ± 3.2	7.92 ± 5.2	0.44

Tabla 4. Prueba de contraste de Fisher (sc = 1.2692, gl = 36.000). Los valores muestran la significancia (p) para las diferencias entre las temperaturas seleccionadas promedio de las parejas formadas con las cuatro categorías examinadas. Los valores resaltados indican diferencias estadísticamente significativas.

	Machos	Hembras	Hembras P	Juveniles
Machos				
Hembras	0.379314			
Hembras P.	0.000547	0.000019		
Juveniles	0.107417	0.015761	0.081510	

Calidad térmica del ambiente

En la figura 10 se presentan diagramas de caja y bigotes para las temperaturas operativas de cada una de las categorías de *P. indubitus*. Como se puede observar las temperaturas operativas asociadas a las hembras preñadas son significativamente más elevadas que las asociadas a las otras tres categorías (Tabla 5).

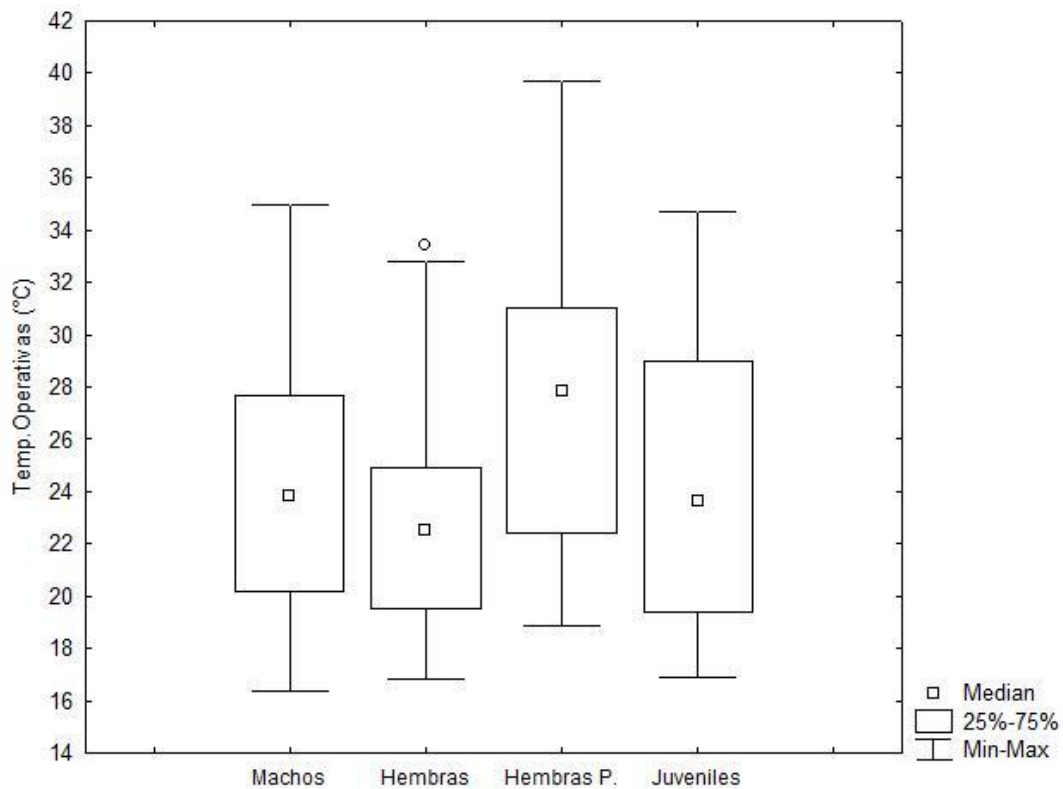


Figura 10. Diagrama de caja para las temperaturas operativas de las categorías de *P. indubitus*

Tabla 5. Prueba de contraste de Fisher (sc=25.362; gl=154)

	Machos	Hembras	Hembras P.	Juveniles
Machos				
Hembras	0.381454			
Hembras P.	0.014285	0.002234		
Juveniles	0.788489	0.247226	0.020162	

Microhábitat

La mayoría de los las lagartijas observadas (45%) se refugiaron bajo rocas. Todos los demás refugios se utilizaron con menor frecuencia. En la Figura 11 se muestra la frecuencia con que son ocupados los diferentes refugios en los microhábitats, se puede apreciar una preferencia a refugios bajo rocas.

Asimismo, la mayoría de las lagartijas se encontraron debajo de refugios (principalmente rocas) ubicados en lugares en los cuales los escombros (hojarasca, hierba y/o troncos) en torno a los mismos fue de 75 al 100% (Tabla 6). Las diferencias fueron altamente significativas ($\chi^2 = 279.01$; $gl = 3$; $p < 0.0001$)

Tabla 6. Frecuencias observadas y esperadas de lagartijas encontradas en cada clase de microhábitat con base al % de escombros del microhábitat de *P. indubitus*.

intervalo de clase%	frecuencia observada(O)	frecuencia esperada(E)	(O-E)²/E
76-100	121	35.5	205.9225352
51-75	17	35.5	9.64084507
26-50	4	35.5	27.95070423
0-25	0	35.5	35.5
Total	142	142	$\chi^2 = 279.0140845$

En esta tabla se ve que χ^2 es mayor que $\chi^2_{.995} = 12.838$ ($gl=3$) de modo que se rechaza la hipótesis nula de que los organismos no tienen una preferencia a lugares con mayor porcentaje de escombros.

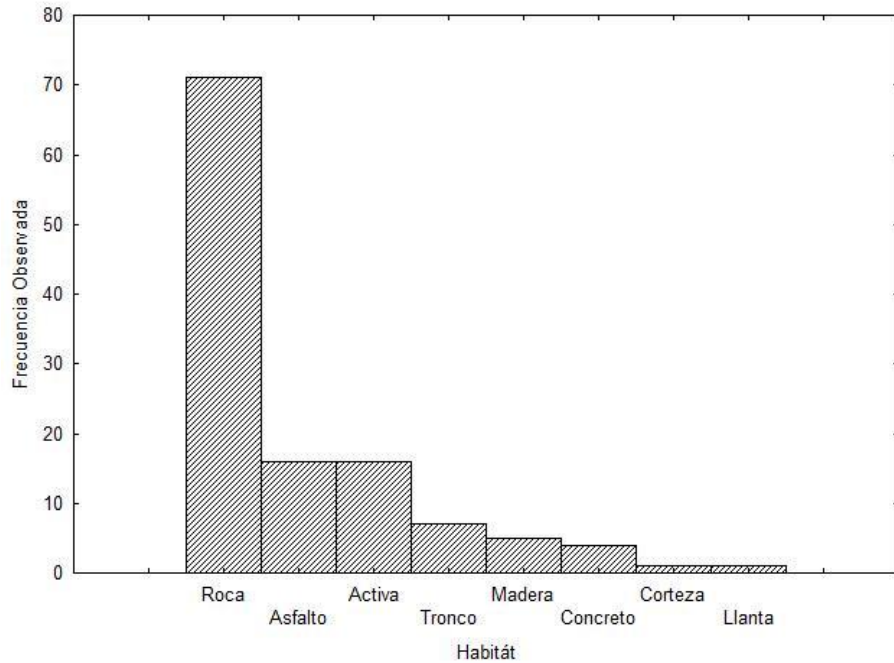


Figura 11 distribución de *Plestiodon indubitus* en los diferentes microhábitats.

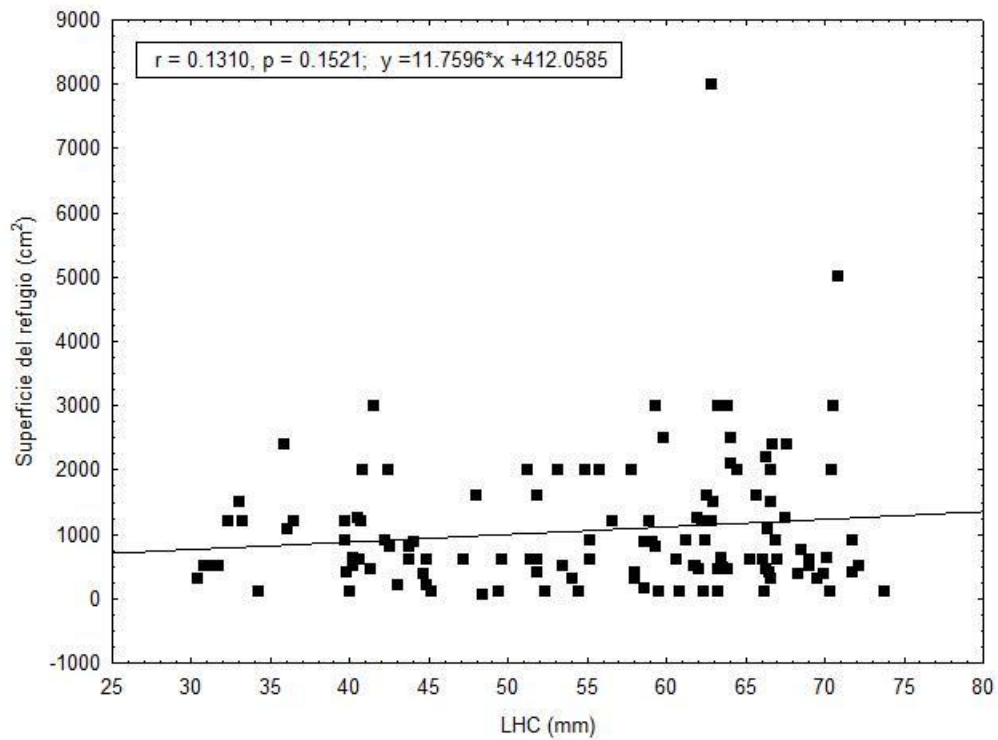


Figura 12. LHC vs superficie del refugio, un análisis de correlación indica que no se encontró una relación estadísticamente significativa ($p=0.1521$, $r=0.1310$).

Análisis de resultados

La temperatura corporal promedio (27.7 °C) de *P. indubitus* fue relativamente más baja que la de otras especies de lagartijas vivíparas, por ejemplo que la de *Sceloporus grammicus* para la cual se ha reportado una temperatura corporal promedio de 31.43°C (Piña et al, 2006), o la de muchas lagartijas ovíparas como el caso de *Anolis lineatissima* cuya temperatura corporal promedio fue de 31.14°C (Navarro-García et al, 2008). Esto puede deberse a los hábitos secretivos de *P. indubitus*, ya que la mayor parte de su vida la pasa entre la hierba o debajo de escombros (rocas, hojarasca, troncos, etc.), en donde difícilmente llegan los rayos solares, lo que presumiblemente provoca que su temperatura corporal dependa en gran medida de la de su sustrato, más que de la del aire o de la radiación solar.

Las hembras preñadas tuvieron temperaturas corporales promedio significativamente más altas que la de los machos, y en particular significativamente más altas que la de las hembras no preñadas. Es factible considerar que las hembras preñadas requieren de temperaturas corporales adecuadas para el desarrollo de sus embriones. Por lo tanto, la mayor temperatura corporal de las hembras preñadas sugiere que el desarrollo embrionario requiere de temperaturas corporales relativamente más altas que las que comúnmente mantiene en campo. Algo similar ocurre en la lagartija vivípara *Chalcides ocellatus* en la cual las hembras preñadas mantienen temperaturas corporales más altas que los machos o las hembras no preñadas. Daut y Andrews (1993) sugirieron que las temperaturas altas deben intensificar el desarrollo embrionario. Es posible que las hembras no preñadas estén menor tiempo en actividad, evitando en alguna medida el riesgo de depredación y aumentando sus probabilidades de supervivencia, probablemente por esta causa sus temperaturas corporales sean menores.

La temperatura corporal registrada en campo, presentó diferencias significativas en las hembras preñadas con respecto a las no preñadas y los machos, esto puede deberse a que estas hembras requieren de hábitats adecuados que suministren el calor necesario para incrementar la temperatura corporal a niveles óptimos con fines reproductivos como se ha visto en otras especie de lagartijas (Gillis 1991). El hecho de que los organismos juveniles tengan temperaturas más elevadas con respecto a hembras no preñadas, puede deberse a que los organismos juveniles tienen una tasa de crecimiento mayor si se mantienen temperaturas corporales relativamente altas. Otra razón es que los organismos de talla menor típicamente corren más riesgo de depredación, una mayor actividad motriz favorecería estrategias de escape ante predadores. La distancia recorrida está relacionada con la temperatura corporal, los organismos que están fríos tienen menor probabilidad de escape que los que están en un intervalo de temperatura óptimo (Zug et al., 2001). Además de esto los individuos de tamaño pequeño intercambian más rápidamente calor con el ambiente, debido a que la relación superficie/volumen es más grande que en organismos de mayor tamaño, por esta razón tienen una gran pérdida de agua por evaporación (Hailey, 1982). Esto puede traducirse en un aumento de la temperatura, por lo tanto está sería más alta que la de los adultos.

Tendencias termorreguladoras

El que una lagartija sea termorreguladora tiene varias implicaciones. Por un lado, al presentar una alta temperatura corporal habrá una mayor tendencia a la pérdida de agua por evaporación (Hertz, 1992). Por otra parte al estar expuestas directamente a la radiación solar esto las vuelve más conspicuas a potenciales depredadores (Ballinger et al., 1970; Huey y Slatkin, 1976), entre otros costos. Aunque por otro lado el acceso a una temperatura ambiental que permita a los organismos llegar a un intervalo de temperatura óptima trae como posible ventaja que el animal lleve a cabo mejor sus procesos vitales, como por ejemplo el crecimiento o la reproducción, como es el caso de las hembras preñadas de *P. indubitus*. Esto se debe a que la gestación es un proceso altamente termodependiente (Beuchat, 1986, 1988; Shine & Harlow, 1993) por lo que la temperatura corporal alcanzada durante este tiempo afecta no sólo al tiempo de gestación, sino incluso a la talla o condiciones físicas de los juveniles (Wapstra, 2000).

La mayoría de los organismos fueron encontrados bajo rocas o escombros y, en algunos casos, en lugares expuestos al sol. El hecho de observar a ejemplares en lugares expuestos sugiere que con alguna frecuencia los organismos utilizan la luz del sol para calentar sus cuerpos. Por otro lado, en algún grado, la temperatura del sustrato debe influenciar la temperatura corporal de las lagartijas, y esto pudo disminuir la temperatura corporal promedio de las mismas: cabe mencionar que los refugios son generalmente frescos y de temperatura relativamente baja.

Las pendientes de las rectas de las regresiones fueron relativamente altas en hembras no preñadas, machos y juveniles, (0.83, 0.62 y 0.50, respectivamente). Sin embargo, en el caso de las hembras preñadas este valor fue de solo 0.25. De acuerdo al criterio de Huey y Slatkin (1976), estos valores sugieren que, con excepción de las hembras preñadas, *P. indubitus* se comporta principalmente como un termorregulador pasivo (termoconformista). Sin embargo

este criterio ha sido criticado por Hertz *et al.*, (1993), ya que las temperaturas ambientales utilizadas para realizar las regresiones pueden ser temperaturas seleccionadas por las mismas lagartijas y por lo tanto las pendientes cercanas a uno no necesariamente sugieren una falta de termorregulación activa.

Eficiencia térmica

El modelo de Hertz *et al.*, (1993) utilizado en el presente estudio, fue diseñado para evaluar si una especie particular termorregula o no, y en caso de hacerlo también evalúa cuantitativamente la eficiencia del proceso. Un valor alto en el índice de eficiencia involucrado (E) indica que la especie es termorreguladora activa y es capaz de mantener sus temperaturas corporales dentro del intervalo de temperaturas en la cual realiza mejor sus actividades vitales. Los índices de eficiencia termorreguladora obtenidas en este estudio fueron relativamente bajos en hembras no preñadas, machos y juveniles (0.29, 0.43 y 0.44, respectivamente), no así en las hembras preñadas donde el valor obtenido fue moderadamente alto (0.61), lo que sugiere una baja eficiencia termorreguladora para esta especie excepto el caso de las hembras preñadas.

La precisión con la que termorregula *P. indubitus* varía dependiendo de la edad y el estado de preñez. Las lagartijas preñadas fueron capaces de mantener su temperatura corporal en campo dentro de un valor cercano a su intervalo de temperatura preferida (figura 13). Los resultados sugieren que a pesar de la baja calidad térmica del ambiente la eficiencia con la que termorregulan las hembras preñadas es moderada (E=0.61).

El aumento en la eficiencia termorreguladora de las hembras preñadas se debe a tres eventos: (i) mantienen temperaturas corporales de actividad relativamente más altas que cuando no están preñadas, (ii) disminuyen la variación en las temperaturas corporales de campo (es decir, termorregulan de manera más precisa que cuando no están preñadas), y (iii) disminuyen su

intervalo de temperaturas seleccionadas. El efecto de estos tres eventos provoca que las temperaturas corporales de las hembras preñadas caigan principalmente dentro del intervalo de temperaturas preferidas (figura 13). Por otro lado, es factible asumir que las temperaturas corporales óptimas para el desarrollo embrionario no son las mismas que las que requieren los organismos (machos o hembras) para realizar sus funciones vitales. Por lo tanto, la disminución en las temperaturas seleccionadas sugiere que las hembras preñadas prefieren temperaturas que favorezcan el desarrollo de sus embriones.

Actualmente se encuentra bien documentado que algunos reptiles varían su temperatura dependiendo del estado reproductivo en el que se encuentran (Daut y Andrews, 1993). Según los estudios de Mathies y Andrews (1997), *Sceloporus jarrovi* mantiene una temperatura corporal baja y con poca variación durante el periodo de gestación, debido a que las temperaturas elevadas pueden ser letales para los embriones. Pero para el caso de las hembras preñadas de *P. indubitus* mantener una temperatura corporal baja puede tener un profundo efecto en su adecuación, debido a que un evento de depredación significaría también la muerte de los descendientes. Por otro lado, el riesgo de depredación podría ser mayor si se considera que la carga de los embriones, aunada a la baja temperatura, podría disminuir notablemente la capacidad locomotora de los organismos. Por lo tanto, debe existir un mecanismo que permita que las hembras mantengan una temperatura corporal dentro del intervalo de temperatura óptima durante el periodo de reproducción.

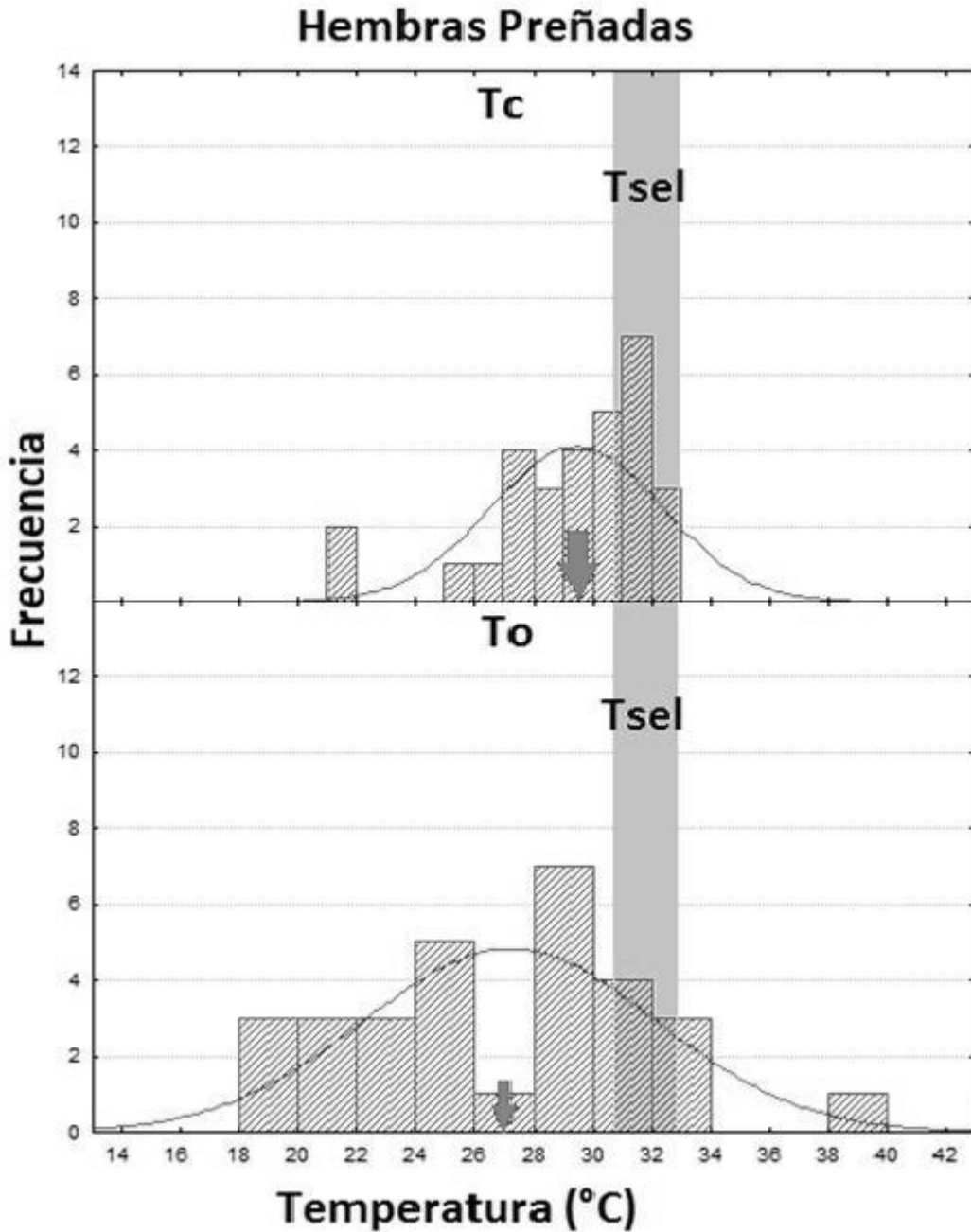


Figura 13. Distribución de frecuencias para las temperaturas corporales (gráfica superior) y operáticas (gráfica inferior) de *P. indubitus*. La barra gris indica el intervalo de temperaturas corporales seleccionadas por los organismos en el gradiente térmico de laboratorio (Tsel). Las flechas indican temperaturas promedio.

Las hembras no preñadas presentaron una baja eficiencia en el proceso termorregulatorio ($E=0.29$), más baja que cualquiera de las otras categorías. En la figura 14 puede apreciarse que las temperaturas corporales registradas en campo están distribuidas muy por debajo del intervalo de temperaturas seleccionadas. Es de esperarse que las hembras no preñadas tengan temperaturas corporales más bajas que las preñadas, por las razones señaladas anteriormente. También, no es raro que las hembras no preñadas tengan temperaturas corporales más bajas que los juveniles: se espera que las crías mantengan temperaturas corporales relativamente elevadas debido a que esto, en principio, debe favorecer el nivel de actividad, la asimilación de alimento y la tasa de crecimiento. Sin embargo, no es claro porque las temperaturas de actividad de las hembras no preñadas deban ser más bajas que las de los machos. Una explicación podría ser la siguiente.

Primero, los machos pueden ser más activos que las hembras. En *P. brevirostris*, una especie estrechamente relacionada a la especie bajo estudio, los machos poseen extremidades más grandes que las hembras, lo que sugiere una actividad mayor en los machos que las hembras. Es posible que algo similar ocurra con los machos de *P. indubitatus* (si bien es necesario evaluar esta situación). Si este es el caso, los machos correrían más riesgo de depredación que las hembras. Una mayor temperatura en última instancia podría favorecer el escape con respecto a depredadores potenciales. Segundo, dado que las hembras serían menos activas no tendrían por qué exponerse en ambientes peligrosos. De este modo, sugerimos que las hembras podrían permanecer más tiempo en sus refugios temporales, lo cual se reflejaría en una menor temperatura corporal promedio (ver figura 5 y tabla 1).

Una baja eficiencia en el proceso termorregulatorio comparada con la de las hembras preñadas podría deberse a que este comportamiento posiblemente aumente la probabilidad de supervivencia, ya que los microhábitats termicamente favorables para estos organismos pudieran ser también favorables para sus depredadores. El hecho de que un organismo ectotermo este inactivo en un momento determinado disminuye el riesgo de depredación, ahorra energía,

aumenta la probabilidad de supervivencia y una futura reproducción (Acosta y Martori,1990).

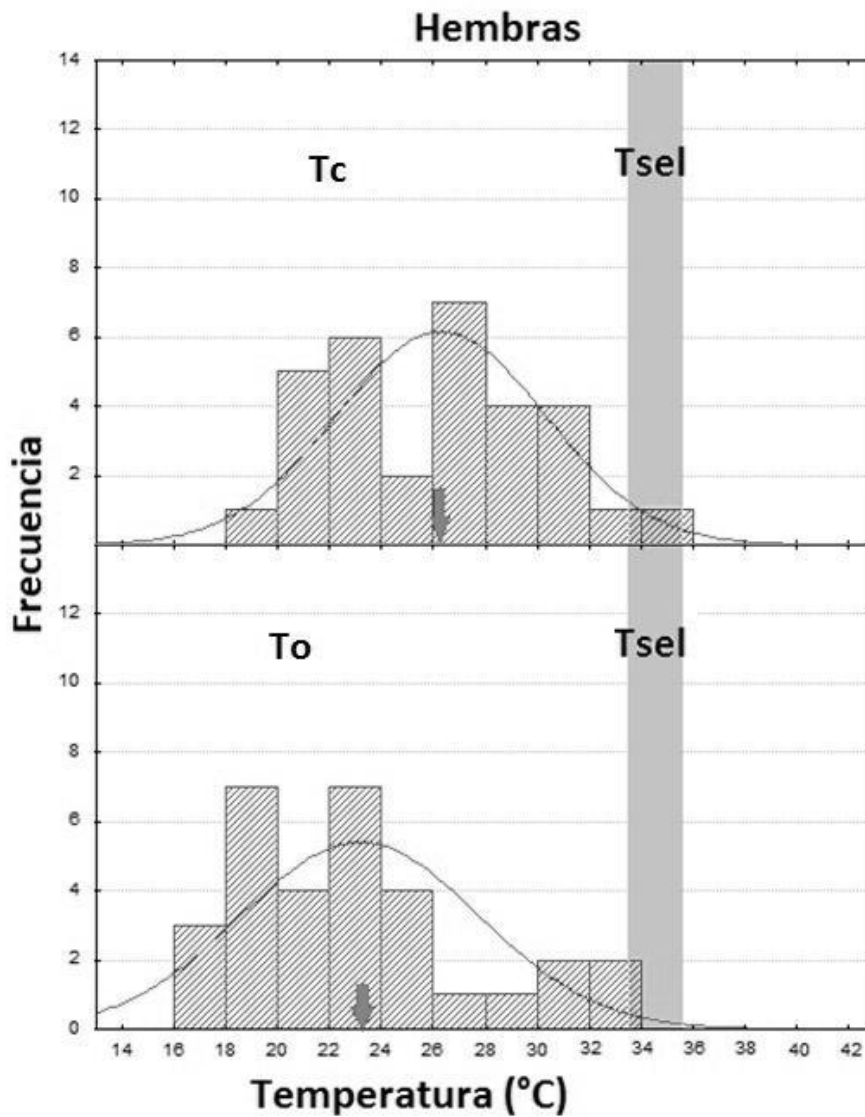


Figura 14. Distribución de temperaturas de *P. indubitus*. En la parte superior se muestra la distribución de temperaturas corporales (Tc) de los organismos en campo para el caso de hembras no preñadas; abajo, la distribución de temperaturas operativas nulas (To) disponibles en el hábitat, la barra gris indica la temperatura seleccionada por los organismos en el gradiente térmico en laboratorio (Tsel).

En los casos de adultos machos y juveniles, presentaron un comportamiento termorregulatorio muy similar, como se puede apreciar en la figura 15. En estas dos categorías no se presenta una diferencia significativa entre las temperaturas corporales registradas en campo, ni entre los intervalos de temperaturas seleccionadas en laboratorio; sin embargo puede observarse que su intervalo de temperatura seleccionada es más amplio que en las otras dos categorías, aun así la eficiencia térmica es menor ($E=0.43$ y $E=0.44$ para machos y juveniles, respectivamente) que en hembras preñadas ($E=0.61$). Esto podría responder a menores requerimientos térmicos de estas categorías con respecto a las hembras preñadas.

La similitud entre estas dos categorías sugiere que ambas intentan alcanzar temperaturas corporales similares, si bien no necesariamente con fines similares. Los juveniles requieren de temperaturas que principalmente favorezcan la asimilación de energía y su crecimiento. Los machos pueden ocuparse en buscar pareja y aparearse, lo que puede aumentar su actividad y riesgo de depredación en relación a las hembras. De este modo, en principio, buscarían temperaturas que aumentaran la eficiencia de estos procesos (apareamiento, evasión de depredadores) (Karasov y Anderson, 1984; Balderas-Valdivia y Ramírez-Bautista, 2002; Vitt y Pianka, 2004).

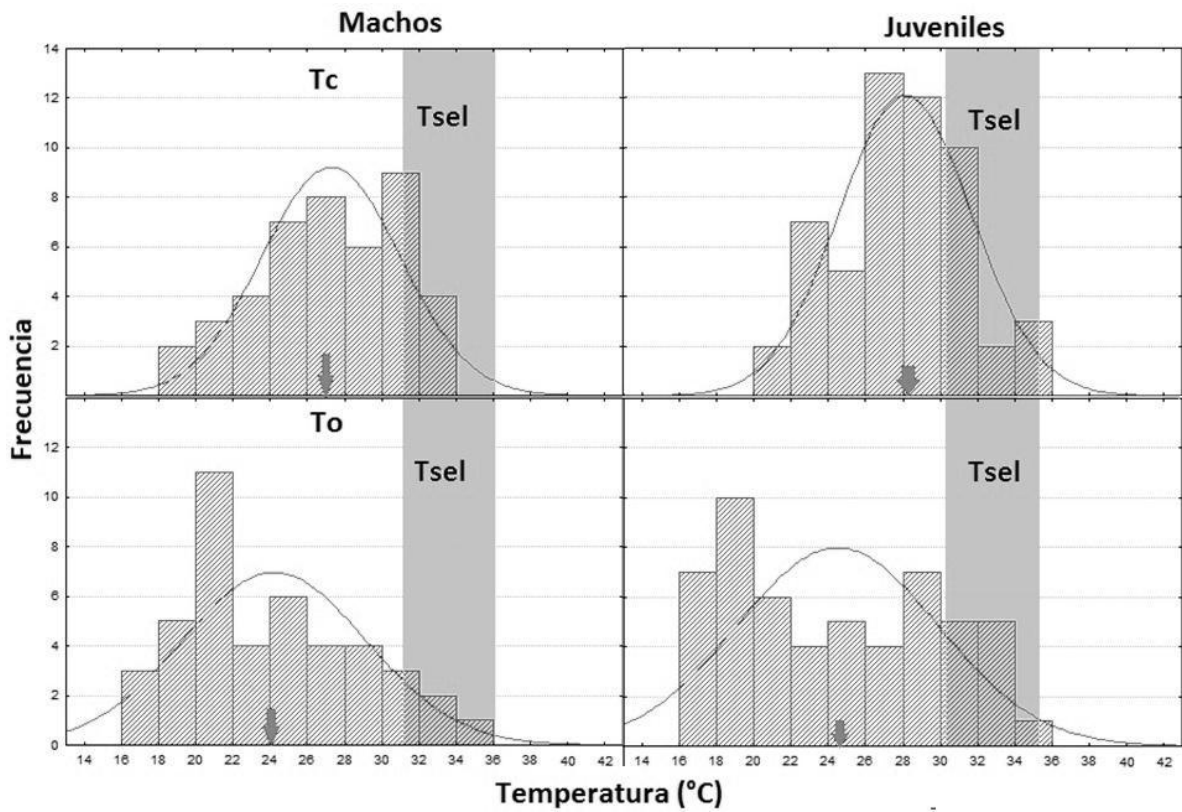


Figura 15. Distribución de temperaturas de *P. indubitus*. En la parte superior se muestra la distribución de temperaturas corporales de campo (Tc), para Machos en lado izquierdo y para juveniles en el lado derecho; abajo la distribución de temperaturas operativas nulas (To) disponibles en el hábitat, la barra gris indica la temperatura seleccionada por los organismos en el gradiente térmico de laboratorio (Tsel).

Calidad térmica del ambiente

El intervalo de temperaturas operativas puede interpretarse como un intervalo de temperaturas ambientales que los organismos pueden explotar para propósitos de regular su temperatura corporal. El intervalo de temperaturas operativas para *P. indubitus* fue de 16.5-35°C. Excepto para las hembras preñadas, la mayoría de las temperaturas operativas estuvo por debajo de las temperaturas corporales de campo. Esto sugiere que el microhábitat en el que viven las lagartijas difícilmente les ofrece las temperaturas que necesitan para realizar más eficientemente sus actividades vitales. Por otro lado, es de notarse que el intervalo de temperaturas operativas para las hembras preñadas fue mayor que en las otras categorías.

Esto refuerza la idea de que las hembras preñadas termorregulan más eficientemente buscando sitios apropiados que les permitan llegar a un intervalo de temperatura óptima. Es importante recalcar que esto no implica que las hembras preñadas sigan pasivamente la temperatura del sustrato (ver figura 9); sin embargo, dado que las temperaturas operativas fueron registradas en lugares cercanos al refugio, por donde pudo pasar la lagartija, su influencia puede ser importante. Lo anterior sugiere que los sitios elegidos por las hembras preñadas para resguardarse pueden ser térmicamente más apropiados para el desarrollo embrionario que los elegidos por las otras tres categorías. De esta manera, los organismos tienen a su disposición temperaturas más cálidas, y esto puede permitirles mantener su temperatura corporal en un intervalo más estrecho, aumentando así la precisión en el proceso termorregulatorio, lo que se reflejaría en un aumento en su eficiencia termorreguladora.

Criticas al protocolo de Hertz

Si bien el protocolo de Hertz ha sido ampliamente aceptado para evaluar la eficiencia termorreguladora de lagartijas, también ha sido criticada por otros autores (Christian and Weavers 1996; Currin and Alexander 1999; Blouin-Demers and Weatherhead 2001). Las críticas se basan específicamente en el uso del índice de eficiencia (E), por tres razones: (i) E se vuelve indeterminada cuando la calidad térmica del ambiente es perfecta ($d_e=0$), (ii) E no puede ser interpretada sin tomar en cuenta las magnitudes relativas de d_b y d_e y, por último, al ser E una tasa, esta es sensible a valores extraordinarios, por lo tanto puede dar lugar a interpretaciones alejadas de la realidad.

El que la calidad térmica sea perfecta, es decir; que la temperatura que ofrece el ambiente sea exactamente la temperatura que requiere el organismo, solo podría pasar en ambientes térmicamente homogéneos, cosa que no pasa en el presente estudio, además que un ambiente de este tipo traería como consecuencia que la variación de temperaturas corporales de las lagartijas fuera mínima ($d_b=0$), por lo que la precisión en el proceso termorregulatorio sería también perfecta, en este sentido es impráctico decir que existe una termorregulación activa, ya que el organismo no se preocuparía por las hostilidades térmicas del ambiente y ocuparía mayor tiempo a otras actividades como búsqueda alimento, crecimiento o reproducción. Es por las anteriores razones que se debe evaluar la eficiencia térmica tomando en cuenta las magnitudes de d_b y d_e , ya que estos índices son los indicadores de que tan precisa es la termorregulación de un organismo a pesar de las condiciones de un ambiente térmicamente inadecuado. Por otro lado, es importante tomar en cuenta la crítica que hacen Christian y Weavers (1996) acerca de que los valores extraordinarios pueden cambiar en alguna medida los resultados, dado que si un organismo se encuentra muy alejado de su temperatura óptima, este puede traer como consecuencia que la media muestral de las temperaturas cambie; sin embargo, se espera que el efecto mayor con muestras pequeñas que en grandes. En el caso de *P. indubitus* se presentaron dos casos extraordinarios en la

categoría de hembras preñadas; estos dos casos no modifican sustancialmente los resultados para el presente estudio, muy a pesar de esto en la tabla 7 se presentan ambos valores de E para las hembras preñadas.

Tabla 7. Eficiencia térmica (E) para la población de *P. indubitus* de Huitzilac, Morelos. También se muestran los valores correspondientes al índice de exactitud en el proceso termorregulatorio (d_b) y al índice de calidad térmica del ambiente (d_e). En el caso de las hembras preñadas también (en negritas) se muestran los valores obtenidos al considerar los valores de Tc extraordinarios.

Categoría	°C (Tsel)	(d_b)	(d_e)	E= 1-(d_b/d_e) (E)
Machos	31.16-36.1	4.09 ± 3.5	7.22 ± 4.5	0.43
Hembras	33.55-35.45	7.35 ± 3.9	10.44 ± 4.5	0.29
Hembras P	30.71-32.93	1.76 ± 2.5	4.45 ± 3.9	0.61
	30.71-32.93	1.21 ± 1.5	4.39 ± 3.9	0.72
Juveniles	33.1-36.1	4.39 ± 3.2	7.92 ± 5.2	0.44

Microhábitat

La mayoría (45 %) de los ejemplares recolectados se encontraron bajo rocas. Se ha llegado a destacar que los tipos de microhábitats que utiliza una especie de lagartija, se asocia principalmente con variaciones en la forma y el tamaño de su cuerpo (Kohlsdorf *et al.*, 2001; Herrel *et al.*, 2002; Faria y Araujo, 2004). Los ejemplares de *P. indubitus* poseen cuerpos alargados y extremidades pequeñas, los cuales les permite ocupar cavidades pequeñas y horizontales como las que se encuentran debajo de rocas (u otros objetos con bases relativamente planas) no totalmente cimentadas al suelo. Si bien algunos organismos se encontraron en otros tipos de refugio (debajo de piezas de asfalto, troncos, etc.), éstos también presentaban cavidades horizontales de poco espesor. Es factible considerar que las oquedades angostas ofrezcan protección en contra de depredadores de tamaños diferentes (serpientes).

La subespecie muestra una clara preferencia a los lugares con un alto porcentaje de escombros. No se encontró ningún ejemplar en refugios rodeados por suelo desnudo, y la frecuencia de las mismas en sitios moderadamente expuestos también fue muy baja. Dado su pequeño tamaño, y sus extremidades muy cortas, puede ser muy riesgos desplazarse por lugares abiertos. La idea de que *P. indubitus* evita sitios expuestos con el fin de disminuir el riesgo de depredación se ve reforzada por el hecho de que en sitios abiertos la luz del sol cae más directamente sobre el suelo y de este modo debe aumentar su temperatura en relación a la temperatura en sitios “ocultos”. Dado que la temperatura corporal de actividad de las lagartijas muchas veces está por debajo de sus temperaturas preferidas, desde el punto de vista térmico, se esperaría que fuera común que se desplazara por sitios abiertos.

Conclusiones

- ▶ Las temperaturas corporales de actividad de *P. indubitus* varían con el sexo y el estado reproductivo, no así con la edad, es decir; tanto adultos machos como juveniles presentan necesidades térmicas similares.
- ▶ La eficiencia con la que regula la temperatura corporal *P. indubitus* es moderadamente alta solamente en hembras preñadas
- ▶ La calidad térmica del hábitat no es adecuada para los requerimientos de la especie sin embargo las hembras preñadas termo regulan más eficientemente, debido a que los embriones requieren temperaturas relativamente altas.
- ▶ La eficiencia con la que termorregula las demás categorías es relativamente baja debido principalmente a una baja calidad térmica por lo que consideramos que se comporta principalmente como un ectotermo termoconformista.
- ▶ *P. indubitus* tiene una preferencia a microhábitats con mayor porcentaje de escombros, esto se debe a que estos lugares proveen al organismo mayor protección contra potenciales depredadores.

Referencias bibliográficas

- Acosta J.C y R. Martori 1990. Ecología de una población de *Teiidus ocellatus* (Sauria: teiida), de Rio Cuarto (Cordoba) II Utilización de espacio-temporal y relaciones térmicas. Cuadernos de Herpetología 5(4): 19-24.
- Arad, Z. 1995. Physiological responses to increasing ambient temperature in three ecologically different, congeneric lizards (*Gekkonidae: Ptyodactylus*). Comp. Biochem. Physiol A: 305-311.
- Avery, R. A. 1978: Activity patterns, thermoregulation and food consumption in two sympatric lizard species (*Podarcis muralis* and *P. sicula*) from central Italy. J. Anim. Ecol. 47: 143-158.
- Avery, R. A. 1982. Field studies of body temperatures and thermoregulation. In Biology of Reptilian. Edited by Gans C. and Pouhg F. H., Vol 12, pp. 93-166, Academic Press London.
- Avery, R. A. y D. J. Bond. 1989. Movements patterns of lacertid lizards: effects of temperature on speed, pauses and gait in *Lacerta vivipara*. Amphibia-Reptilia, 10: 77-84.
- Axtell, W. R. 1960. A new subspecies of *Eumeces dicei* from the Sierra Madre of Northeastern México. Copeia 1960:19–26.
- Balderas-Valdivia, C., y A. Ramírez-Bautista. 2002. *Cnemidophorus lineatissimus*. Pp. 281 -284. En Noguera, F. A., J. H. Vega-Rivera, A. García-Aldrete, y M. Quesada-Avenidaño (Eds.), Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ballinger, R. E., K. R. Marion, y O. J. Sexton. 1970. Thermal ecology of the lizard, *Anolis limifrons* with comparative notes on three additional Panamanian anoles. *Ecology*, 51: 246-254.
- Bauwens, D., A. M. Castilla, R. Van Damme, y R. F. Verheyen, 1990. Field body temperatures and thermoregulatory behavior of the high altitude lizard, *Lacerta bedriagae*. *J. Herpetol.* 24: 88-91.
- Bauwens, D., P. E. Hertz y A. M. Castilla. 1996. Thermoregulation in a Lacertid lizard: The Relative Contributions of Distinctive Behavioral Mechanisms. *Ecology*, 77(6):1818–1830.
- Bauwens, D., A. M. Castilla, y P. F. N. Mouton. 1999. Field Body Temperatures, Activity Levels and Opportunities for Thermoregulation in an Extreme Microhabitat Specialist, The Girdled Lizard (*Condyles macropholis*). *Journal of Zoology (London)*, 249:11–18.
- Beuchat, C.A. 1986. Reproductive influences on the thermoregulatory behavior of a live-bearing lizard. *Copeia* 1986: 971-979.
- Beuchat, C.A. 1988. Temperature effects during gestation in a viviparous lizard. *Journal of thermal Biology*, 13: 185-205.
- Beuchat, C. A. 1989. Patterns and frequency of activity in a high altitude population of the iguanid lizard, *Sceloporus jarrovi*. *J. Herpetol.* 23: 152-158.
- Blouin-Demers, G., y P. J. Weatherhead. 2001. Thermal ecology of black rat snakes (*Elaphe obsoleta*) in a thermally challenging environment. *Ecology* 82:3025-3043.
- Brandley, M. C., H. Ota, T. Hikida, A. Nieto-Montes de Oca, M. Feria-Ortiz, X. Guo y Y. Wang. 2011. The phylogenetic systematics of blue-tailed skinks

(*Plestiodon*) and the family Scincidae. Zoological Journal of the Linnean Society (accepted: ID-ZOJ-05-2011-1078).

- Browker, R.G., S. Damschroder, A. M. Sweet y D. K. Anderson.1986. Thermoregulatory behavior of the North America lizards *Cnemidophorus velox* and *Sceloporus undulates*. *Amphibia- Reptilia* 7:335-346.
- Carothers, J. H.; S. F. Fox; P. A. Marquet & F. M. Jaksic. 1997. Thermal characteristics of ten Andean lizards of the genus *Liolaemus* in central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*: 297-309.
- Cowles, R. 1962. Semantics in biothermal studies *Science*, Vol. 135, and N. 3504. p. 670.
- Cowles, R. B., y C. M. Bogert. 1944. A preliminary study of the thermal requirements of desert reptiles. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, 83: 261-296.
- 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 B. W. Weavers. 1996. Thermoregulation of monitor lizards in Australia: an evaluation of methods in thermal biology. *Ecological Monographs* 66:139-157
- Currin, S., y G. J. Alexander, 1999. How to make measurements in thermoregulatory studies: the heating debate continues. *African Journal of Herpetology* 48:33-40.

- Daut, E. F., y R. M. Andrews. 1993. The effect of pregnancy on thermoregulatory behavior of the viviparous lizard *Chalcides ocellatus*. *Journal of Herpetology* 27:6-13.
- Dixon, J. R. 1969. Taxonomic review of the Mexican skinks of the *Eumeces brevirostris* group. *Contributions in Science, Natural History Museum of Los Angeles County* 168:1–30.
- Faria, R.G. y A.F.B. Araujo. 2004. Syntopy of two *Tropidurus* lizard species (Squamata: Tropiduridae) in a rocky Cerrado habitat in Central Brazil. *Brazilian Journal of Biology, Rio de Janeiro*, 64 (4): 775-786.
- Feria-Ortiz, M., U. O. García-Vázquez, y J. L. Aguilar-López. 2007. *Plestiodon brevirostris* (Short-nosed Skink). Reproduction. *Herpetological Review* 38: 81.
- Feria-Ortiz, M., N. L. Manríquez-Morán y A. Nieto-Montes de Oca. 2011. Species limits based on mtDNA and morphological data in the 1 polytypic species *Plestiodon brevirostris* (Squamata: Scincidae). *Herpetological Monographs* 25(1)
- García, A. E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. México. 217 p.
- Gillis, R. 1991. Thermal biology of two populations of red-chinned lizards (*Sceloporus undulatus erythrocheilus*) from Colorado. *Journal of Herpetology* 25:18-23.
- Goldberg, S. R. 2002. *Eumeces brevirostris* (Short-nosed Skink). Reproduction. *Herpetol. Rev.*, 33:134.

- Grant, B. W. y A. E. Dunham. (1988). Thermally Imposed Time Constraints on the Activity of the Desert Lizard *Sceloporus merriami*. *Ecology*, 69:167–176
- Hailey, A. 1982. Choice of substrate and heating rate in *Lacerta vivipara*. *Brit. J. Herpet.*6:207-213
- Heatwole, H. 1977. Habitat selection in reptiles. Pp.137-155. En: Gans, C. y Tinkle, D. W. (eds.), *Biology of the Reptilia*. Vol. 7. Ecology and Behavior A. Academic Press, New York.
- Hertz, P. E. 1992 Temperature regulation in Puerto Rican *Anolis* lizards: a field test using null hypotheses. *Ecology* 73, 1405–1417.
- Hertz, P. E., R. B. Huey, y R. D. Stevenson. 1993. Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question. *American Naturalist* 142:796-818
- Hertz, P. E. 2004. Evaluating thermal resource partitioning. *Oecologia* 2004:1432-1439.
- Herrel, A., J.J. Meyers y B. Vanhooydonck (2002): Relations between micro habitat use and limb shape in *phrynosomatide* lizards. *Biological Journal of the Linnean Society* 77 (1): 149-163.
- Huey, R.B. 1982. Temperature, physiology, and the ecology in reptiles, in C. Gans and F.H. Pough, eds. *Biology of The Reptilia*. Vol. 12. Physiology C: physiological ecology. Academic. Press, New York. Pp. 25-91.
- Huey, R. B. y M. Slatkin. 1976. Cost and benefits of lizard thermoregulation. *Quarterly Review of Biology* 51:363-384.

- Huey, R. B., y J. G. Kingsolver. 1989. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. *TREE* 4:131-135.
- Karasov, W. H., y R. A. Anderson. 1984. Interhabitat differences in energy acquisition and expenditure in a lizard. *Ecology* 65:235-247
- Kearney, M. y M. Predavec. 2000. Do nocturnal ectotherms termoregulate? A study of the temperature gecko *Christinus marmoratus*. *Ecology* 81:2984-2996
- Kohlsdorf, T., T. Jr Garland, y C.A. Navas. 2001. Limb and tail lengths in relation to substrate usage in *Tropidurus lizards*. *J. Morphol.* 248: 151–164.
- Lagunas-Cortés, A.I. Ciclos reproductivos y de lípidos de la lagartija vivípara *Plestiodon brevirostris indubitus* al noroeste del estado de Morelos. Tesis de licenciatura en proceso. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
- López-Hernández, I. D., M. Feria-Ortiz y M. Martínez-Coronel. 2008. Tamaño de camada en *Plestiodon brevirostris*. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana* 16:15-17.
- Losos, J.B. 1990. Ecomorphology, performance capability, and scaling of West Indian *Anolis lizards*: an evolutionary analysis. *Ecol. Monogram.* 60: 369-388.
- Mathies, T., y M. Andrews. 1997. Influence of pregnancy on the thermal biology of the lizard, *Sceloporus jarrovi*: do pregnant females exhibit low body temperatures? *Functional Ecology* 11:498-507.
- Moermond, T. C. (1979). Habitat constraints on the behavior, morphology, and community structure of *Anolis lizards*. *Ecology* 60: 152-164.

- Navarro-García, C, Juan, G. Andrés; Méndez-de la Cruz, y R. Fausto. 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*, Vol. 79, Núm. 2, diciembre-sin mes, pp. 413- 419
- Pearson, O.P., y D. F. Bradford (1976). Thermoregulation of lizards and toads at high altitudes in Perú. *Copeia* 1976: 155- 170.
- Pianka E, y Vitt L. *Lizards: Windows to the Evolution of Diversity*. Los Angeles: University of California Press; 2003.
- Pounds, J. A. 1988. Ecomorphology, locomotion, and microhabitat structure: patterns in a tropical mainland *Anolis* community. *Ecol. Monogr.* 58: 299-320.
- Ruibal, R. 1961. Thermal relations of five species of tropical lizards. *Evolution*, 15: 98-111.
- Rummery, C., R. Shine, D. L. Houston, y M. B. Thompson. 1994. Thermal biology of the Australian forest dragon, *Hypsilurus spinipes* (Agamidae). *Copeia* 1994:818-827.
- Sartorius, S. S., J. P. S. Do Amaral, R. D. Durtsche, C. M. Deen, y W. I. Lutterschmidt. 2002. Thermoregulatory accuracy, precision, and effectiveness in two sand-dwelling lizards under mild environmental conditions. *Canadian Journal of Zoology* 80:1966-1976.
- Schoener, T. W 1977. Competition and the niche. pp. 35-136. En: Gans, C. y Tinkle, D. IA. (eds.), *Biology of the Reptilia*. Vol. 7. Ecology and Behavior A. Academic Press, New York.

- Shawn, S., J. Sartorius, P. S. Do Amaral, R. D. Durtsche, C. M. Deen y W. I. Lutterschmidt. 2002. Thermoregulatory accuracy, precision, and effectiveness in two sand-dwelling lizards under mild environmental conditions. *Canadian Journal of Zoology* 80:1966-1976.
- Shine, R. y Harlow, R. 1993. Maternal thermoregulation influences offspring viability in a viviparous lizard. *Oecologia* 96, 122–127.
- Shine, R. y M. Kearney. 2001. Field studies of reptile thermoregulation: how well do physical models predict operative temperatures? *Functional Ecology* 15:282-288.
- Shine, R. y T. Madsen. 1996. Is thermoregulation unimportant for most reptiles? An example using water phytons (Revista Mexicana de Biodiversidad 79: 413- 419, 2008.
- Taylor, E. H. 1935. A taxonomic study of the cosmopolitan scincoid lizards of the genus *Eumeces* with an account of the distribution and relationships of its species. *University of Kansas Science Bulletin* 23:1–643.
- Wapstra, E. 2000. Maternal basking opportunity affects juvenile phenotype in a viviparous lizard. *Functional Ecology*, 14: 345-352.
- Piña, G. A., J. A. Lemos-Espinal, L. Oliver-López, M. E. Calderón Méndez, J. E. González- Espinoza, F. Correa-Sánchez y R. Montoya Ayala. 2006. Ecología térmica de una población de la lagartija *Sceloporus grammicus* (Iguanidae: Phrynosomatide) que ocurre en la zona Centro-Oriente de la Ciudad de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 22: 137-150.

- Van Damme R., D. Bauwens, A.M. Castilla y R.E. Verheyen. 1989. Altitudinal variation of the thermal biology and running performance in the lizard *Podarcis tiliguerta*. *Oecologia* (Berlin) 80: 516-524.
- Van Damme, R., D. Bauwens, y R. E Verheyen (1990). Evolutionary rigidity of thermal physiology: the case of the cool temperate lizard *Lacerta vivipara*. *Oikos* 57: 61-67.
- Vitt, L. J., y E. R. Pianka. 2004. Historical patterns in lizard ecology: what teiids can tell us about lacertids. Pp. 139-157.
- Zug, G. R., L. G. Vitt & G. P. Caldwell. 2001. *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians & Reptiles*. Second Edition, Academic Press. 630 pp.