

Artículo original

Frecuencia cardíaca y frecuencia de muda a diferentes temperaturas en dos especies de lagartijas colombianas, *Anolis huilae* y *A. tolimensis* (Squamata: Dactyloidae)

Heart rate and molting frequency at different temperatures in two species of Colombian lizards, *Anolis huilae* and *A. tolimensis* (Squamata: Dactyloidae)

Myriam Lorena Buitrago-Monroy, Jorge Luis Turriago-González, Manuel Hernando Bernal-Bautista*

Grupo de Herpetología, Eco-Fisiología & Etología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

Resumen

La frecuencia cardíaca y la frecuencia de muda son dos variables fundamentales para la determinación del estado fisiológico de un animal, en especial ante los cambios ambientales que afectan su temperatura corporal. Debido a la poca información sobre estos dos parámetros fisiológicos en ecotermos, el objetivo de este trabajo fue reportarlos en las lagartijas *Anolis huilae* y *A. tolimensis* en tres temperaturas diferentes bajo condiciones de laboratorio, y establecer su sensibilidad térmica. Las temperaturas fueron 15, 20 y 25 °C para *A. huilae*, y 17, 22 y 27 °C para *A. tolimensis*, seleccionadas con base en las de las localidades donde viven en el departamento del Tolima: Juntas (*A. huilae*) y Llanitos (*A. tolimensis*). Las temperaturas altas incrementaron la frecuencia cardíaca (*A. huilae*: entre 53,3 latidos por minuto, lpm, a 17 °C y 57,2 lpm a 27 °C; *A. tolimensis*: entre 45,1 lpm a 15 °C y 50,6 lpm a 25 °C) y disminuyeron la frecuencia de muda (*A. huilae*: entre 135 días a 15 °C y 38 días a 25 °C; *A. tolimensis*: entre 53 días a 17 °C y 25 días a 27 °C). La sensibilidad térmica de la frecuencia cardíaca fue baja, en tanto que en la frecuencia de muda fue mucho más alta. Como era de esperarse, los incrementos en la temperatura ambiental producen cambios significativos en la función animal, que pueden tener un costo energético para el desempeño normal de los lagartos bajo condiciones naturales.

Palabras clave: Ambiente térmico; Ecdisis; Lagartos; Tasa cardíaca; Tolima.

Abstract

The heart rate and the molting frequency are two valuable parameters to determine the physiological state of animals, especially under the current environmental changes which are affecting their body temperature. Given the little information about these two physiological parameters in ectotherms, in this work, we determined the heart rate and molting frequency of the lizards *Anolis huilae* and *A. tolimensis* at three different temperatures under laboratory conditions, as well as their thermal sensitivity. The temperatures were 15, 20, and 25 °C for *A. huilae* and 17, 22, and 27 °C for *A. tolimensis*, selected according to the temperatures in the localities where they live in the department of Tolima: Juntas (*A. huilae*) and Llanitos (*A. tolimensis*). High temperatures increased the heart rate (*A. huilae*: from 53.3 beats per minute (bpm) at 17°C to 57.2 bpm at 27°C; *A. tolimensis*: from 45.1 bpm at 15°C to 50.6 bpm at 25°C) and decreased the molting frequency (*A. huilae*: from 135 days at 15°C to 38 days at 25°C; *A. tolimensis*: from 53 days at 17°C to 25 days at 27°C). Heart rate thermal sensitivity was low whereas the molting frequency was higher. As expected, increased environmental temperatures produced significant changes in animal functions that may be energetically expensive for the normal performance of lizards in natural conditions.

Keywords: Ecdysis; Heart rate; Lizards; Thermal environment; Tolima.

Citación: Myriam Lorena Buitrago-Monroy, Jorge Luis Turriago-González, Manuel Hernando Bernal-Bautista. Frecuencia cardíaca y frecuencia de muda a diferentes temperaturas en dos especies de lagartijas colombianas, *Anolis huilae* y *A. tolimensis* (Squamata: Dactyloidae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 44(173):1008-1017, octubre-diciembre de 2020. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1168>

Editor: Martha Patricia Ramírez Pinilla

***Correspondencia:**

Manuel Hernando Bernal-Bautista;
mhbernal@ut.edu.co

Recibido: 12 de marzo de 2020

Aceptado: 8 de julio de 2020

Publicado: 5 diciembre de 2020



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

La temperatura es uno de los factores ambientales de más impacto en los procesos fisiológicos y comportamentales de los animales (Angilletta, *et al.*, 2002; Du, *et al.*, 2010a), en especial en lagartos ectotérmicos cuya temperatura corporal está fuertemente influenciada por las condiciones térmicas de su microambiente (Diele-Viegas, *et al.*, 2018). Entre estos procesos se encuentra la termorregulación, definida como la habilidad de un organismo para mantener su temperatura corporal dentro de unos límites preferidos (Angilletta, 2009), cuya eficacia conductual está determinada, en gran medida, por los cambios cardiovasculares (Seebacher & Grigg, 2001). Es por esta razón que la frecuencia cardíaca puede ejercer cierto control sobre el intercambio de calor entre algunos reptiles y su ambiente, especialmente a través de la regulación de la velocidad del transporte sanguíneo caliente o frío (Seebacher & Franklin, 2005). Esta capacidad de los reptiles de controlar la conductancia térmica a través de la frecuencia cardíaca y el flujo sanguíneo se conoce como histéresis frente al calentamiento y al enfriamiento (Seebacher & Grigg, 2001), y permite a los animales mantenerse durante más tiempo al día dentro de su rango térmico preferido (Seebacher, 2000).

La muda o ecdisis es otro proceso morfo-fisiológico que se ve afectado por la temperatura ambiental. En vertebrados la muda se define como el proceso de renovación constante de la parte externa de la piel por el desprendimiento periódico del estrato corneo (capa externa de la epidermis) conformado por células queratinizadas (Wells, 2010). Durante este proceso la parte eliminada se desprende en una sola pieza, o el animal la arranca por partes con la ayuda de la boca y las extremidades. Los animales pequeños suelen ingerirla con el propósito de reciclar materiales para una rápida generación de la epidermis (Ling, 1972), para recuperar sus proteínas epidérmicas (Sabagh & Carvalho-e-Silva, 2008), o como suplemento de vitamina D en su dieta (Bustard & Maderson, 1965). La frecuencia de muda está regulada principalmente por los niveles de actividad de la glándula tiroidea (Jørgensen & Larsen, 1960) bajo la estimulación de la glándula pituitaria, y varía con la edad o la masa corporal (Triana, *et al.*, 2013), y por factores ambientales como la humedad o la temperatura (Patrakov & Kuranova, 2006; Meyer, *et al.*, 2012).

Además de su importancia termorreguladora, la frecuencia cardíaca en lagartos es fundamental para establecer el estado de salud de un animal. Por ejemplo, Raske, *et al.* (2012) mencionan que los datos sobre la frecuencia cardíaca, la respiratoria y la temperatura corporal pueden proporcionar información sobre la mejoría en los tratamientos clínicos en vertebrados ectotérmicos; sin embargo, la información sobre los parámetros de base que determinan la salud de un individuo es muy escasa en reptiles. En estudios previos también se ha demostrado que la frecuencia cardíaca puede usarse como un indicador confiable de la tasa metabólica siempre que se cumplan ciertos criterios (Green, 2011; Piercy, *et al.*, 2015); por ello la frecuencia cardíaca puede proporcionar información sobre los costos energéticos de actividades como la locomoción, el forrajeo, la reproducción y la capacidad de respuesta de un organismo ante factores ambientales. En el caso de la muda, su recambio es importante para el reemplazo de los microorganismos que se alojan en la piel, como bacterias y hongos, que pueden resultar patógenos si no se reemplazan frecuentemente (Meyer, *et al.*, 2012). Además, la frecuencia de muda ayuda en el diagnóstico de problemas como la mala alimentación o el bajo nivel de hidratación (Ling, 1972). Dada la poca información sobre estos parámetros fisiológicos en ectotérmicos, especialmente en especies de lagartos, en el presente estudio se reporta por primera vez la frecuencia cardíaca en reposo y la frecuencia de muda de dos especies de lagartijas endémicas de Colombia, *Anolis huilae* y *A. tolimensis*, expuestas a tres temperaturas. Además, se evaluó la sensibilidad de estos dos parámetros fisiológicos a los cambios en la temperatura ambiental. Se espera que esta información sirva de referencia para el estudio de otros lagartos y ectotérmicos empleados como modelo en ecología, fisiología, desarrollo y evolución.

Materiales y métodos

Especies estudiadas

Se seleccionaron dos especies de lagartijas endémicas de Colombia, *Anolis huilae* y *A. tolimensis*, las cuales son abundantes en el departamento del Tolima y se encuentran comúnmente expuestas a fluctuaciones térmicas diarias, por lo que se consideran un buen modelo biológico para el desarrollo de este trabajo.

Anolis huilae (Williams, 1982) se encuentra registrada en los departamentos de Huila y Tolima, en localidades alrededor de los 2.000 m s.n.m. (Williams, 1982). Habita en zonas de bosques secundarios y áreas con marcada intervención antrópica. Los machos tienen una longitud promedio entre hocico y cloaca (LHC) de $70,5 \pm 5,6$ mm y las hembras de $62,8 \pm 5,4$ mm (Bejarano-Bonilla & Bernal-Bautista, 2019). En este estudio la especie se recolectó en un bosque secundario en el corregimiento de Juntas, municipio de Ibagué (Tolima) ($4^{\circ}33'13''$ N & $75^{\circ}19'29''$ O), a 2.000 m s.n.m. Allí la temperatura ambiental promedio durante las horas del día es de $21,07 \pm 2,99$ °C (rango diario de 15,1 a 24,6 °C) según Bejarano-Bonilla & Bernal-Bautista (2019), y la humedad relativa es del 96,37 %. En esta zona la especie es abundante y fácil de observar y capturar.

Anolis tolimensis (Boulenger, 1908) se encuentra distribuida en los departamentos de Tolima, Cauca, Valle del Cauca, Risaralda, Caldas y Huila, entre los 1.000 y 2.000 m s.n.m. (Uetz, et al., 2020). Su longitud entre hocico y cloaca es de $47,91 \pm 3,79$ mm en los machos y de $51,92 \pm 2,57$ mm en las hembras (Ardila-Marín, et al., 2008). La especie se recolectó en un área con cultivos de plátano (*Musa paradisiaca*) en el corregimiento de Llanitos, municipio de Ibagué, (Tolima) ($4^{\circ}29'24''$ N & $75^{\circ}17'10''$ O), a una altitud de 1.150 m y con una temperatura ambiental promedio de $22,7 \pm 3,4$ (rango diario de 17,8 a 27 °C). Previamente, Gallego-Carmona, et al. (2016) habían nombrado la especie como *A. antonii*, sin embargo, Grisales-Martínez, et al. (2017) aclararon luego que corresponde a *A. tolimensis*.

Recolección de los individuos

Entre octubre y diciembre de 2016, durante las horas de la mañana, se capturaron 18 individuos de cada especie mediante la técnica de relevamientos por encuentros visuales (*A. huilae*, LHC: $57,8 \pm 1,26$ mm, masa corporal: $3,77 \pm 1,55$ g; *A. tolimensis*, LHC: $52,9 \pm 6,1$ mm, masa corporal: $2,18 \pm 0,52$ g). Se registró la temperatura corporal, la temperatura del sustrato y la temperatura ambiental del sitio de recolección para todos los individuos. La temperatura corporal se midió en la parte dorsal del animal usando un termómetro infrarrojo (EXTECH IR200, Estados Unidos), con una precisión de $\pm 0,3$ °C, a una distancia aproximada de 20 cm. Las temperaturas del sustrato y del ambiente (a 30 cm por encima del animal) se registraron utilizando una termocupla (EXTECH 421502, Estados Unidos) con una precisión de $\pm 0,3$ °C. Posteriormente, los individuos fueron transportados en recipientes plásticos a la Universidad del Tolima en donde se registró la longitud hocico-cloaca con un calibrador digital (Mitutoyo 500-196-20, Japón) de precisión $\pm 0,025$ mm. Tanto los machos como las hembras se colocaron aleatoriamente por parejas (en ningún caso se observaron agresiones entre los animales) dentro de otros recipientes plásticos (15 x 10 x 10 cm) para ser sometidos a los experimentos.

Tratamientos térmicos

Debido a las diferencias en la temperatura ambiental a la que se encuentran las dos especies de estudio, las temperaturas experimentales se seleccionaron con base en el rango ya mencionado registrado en su hábitat. Por lo tanto, las temperaturas experimentales para *A. huilae* fueron de 15 °C (temperatura baja), 20 °C (temperatura media) y 25 °C (temperatura alta), y para *A. tolimensis*, de 17 °C (temperatura baja), 22 °C (temperatura media) y 27 °C (temperatura alta). Estas temperaturas se obtuvieron mediante el uso de cabinas térmicas (SISTEMA DANFOS ERC 102 KIT) programadas a las temperaturas experimentales deseadas (± 1 °C). Para confirmar las temperaturas de exposición, en cada

cabina se colocó un sensor que registraba en un panel externo la temperatura a la cual se encontraban los individuos, considerada como similar o muy cercana a la temperatura corporal de las lagartijas según los ensayos preliminares.

Medición de la frecuencia cardíaca

Los registros de la frecuencia cardíaca se hicieron durante tres días consecutivos a partir del día en que los individuos fueron capturados y transportados al laboratorio. El orden de exposición de los individuos a cada una de las temperaturas experimentales se determinó de manera aleatoria. Los individuos se mantuvieron durante una hora a la temperatura experimental y, transcurrido este tiempo, se registró dentro de la cabina térmica la frecuencia cardíaca (latidos por minuto, lpm) con el medidor infrarrojo de frecuencia cardíaca (sistema BUDDY, AVIAN BIOTECH, Reino Unido) (Du, *et al.*, 2010b). Se obtuvieron tres registros de la frecuencia cardíaca de cada individuo en intervalos de 2 minutos para hallar un valor promedio. Este mismo procedimiento se repitió en el segundo y el tercer día con las otras dos temperaturas, de tal manera que cada animal fue sometido a las tres temperaturas experimentales. Por último, al cuarto día todos los individuos fueron expuestos nuevamente a la temperatura experimental inicial para confrontar los valores de la frecuencia cardíaca antes y después de la exposición a los tres tratamientos térmicos. No se encontraron diferencias significativas (prueba de Wilcoxon, $p > 0,05$). Durante los días de experimentación, los animales fueron alimentados *ad libitum* con insectos recolectados en la Universidad del Tolima y se les dejó agua dentro de cada recipiente plástico.

Medición de la frecuencia de muda

Para estos registros se utilizaron los mismos 18 individuos de cada una de las dos especies del experimento anterior una vez este finalizó. Los individuos de cada especie se dividieron en tres grupos de seis y fueron sometidos permanentemente a las tres temperaturas experimentales hasta la aparición de la muda. Cada animal se marcó en el dorso mediante un punto pintado con esmalte de uñas de color blanco (Vogue), tal y como se ha reportado en otros estudios con lagartos (Carvajal-Cogollo & Urbina-Cardona, 2008) y anuros (Meyer, *et al.*, 2012). Se hicieron dos observaciones diarias, una en la mañana (7:00) y otra en la noche (19:00) hasta el día en que ocurrió la muda, lo cual se verificó con la ausencia de la marca dorsal. Una vez ocurrido esto, se marcó nuevamente el animal y se inició el registro del tiempo hasta la siguiente muda, repitiendo este procedimiento dos veces más por cada animal para obtener tres registros, con los cuales se calculó un valor promedio de la frecuencia de muda.

Análisis de datos

Los datos de la frecuencia cardíaca de los 18 individuos de *A. huilae* y los 18 de *A. tolimensis* expuestos a las tres temperaturas experimentales se compararon mediante el análisis de medidas repetidas previa comprobación del cumplimiento de los supuestos de la prueba, incluida la prueba de esfericidad de Mauchly ($p > 0,05$), con la cual se comprobó si había diferencias significativas en la frecuencia cardíaca al exponer a cada lagartija a las tres temperaturas diferentes, controlando las diferencias de los tamaños corporales del análisis de medidas repetidas. Los datos sobre la frecuencia de muda en los tres tratamientos térmicos se compararon utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952) debido a que no se cumplieron los supuestos de las pruebas paramétricas, probablemente por el reducido número de datos, ya que no se trataba de un experimento de medidas repetidas. Esta prueba se hizo para comprobar si la frecuencia de muda cambiaba significativamente en las tres temperaturas experimentales. Los análisis estadísticos se hicieron con el programa SPSS (versión 21). Además, se calcularon los valores Q_{10} (Randall, *et al.*, 2002) para la frecuencia cardíaca y la frecuencia de muda con el propósito de establecer la sensibilidad térmica de estos dos parámetros fisiológicos al aumentar 10 °C en la temperatura experimental.

Resultados

La frecuencia cardíaca en *A. huilae* estuvo en un rango entre $45,2 \pm 5,4$ lpm a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50,7 \pm 5,5$ lpm a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tabla 1, Figura 1), con un Q_{10} de 1,12. En el caso de *A. tolimensis*, la frecuencia cardíaca presentó un rango entre $53,3 \pm 6,5$ lpm a $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $57,3 \pm 6,2$ lpm a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tabla 1, Figura 1), con un Q_{10} de 1,07. A pesar del bajo índice Q_{10} , en ambas especies la frecuencia cardíaca se incrementó significativamente con el aumento de la temperatura experimental (Figura 1) (*A. huilae*: Anova $F_{(2,16, N=18)}=21,50, p=0,000$; *A. tolimensis*: Anova $F_{(2,16, N=18)}=3,64, p=0,049$). Específicamente los datos de la frecuencia cardíaca en *A. huilae* arrojaron diferencias significativas entre las tres temperaturas $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ Vs. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (diferencia mínima significativa (DMS)=-2,81, $p=0,000$); $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ Vs. $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (DMS=-5,46, $p=0,000$); $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Vs. $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (DMS=-0,66, $p=0,001$), en tanto que en *A. tolimensis* se presentaron entre la temperatura baja y la alta: $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ Vs. $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ (DMS=-3,94, $p=0,019$).

Con respecto a la frecuencia de muda, se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas experimentales de las dos especies (*A. huilae*: Kruskal-Wallis $H=10,68, p=0,000$; *A. tolimensis*: Kruskal-Wallis $H=9,10, p=0,010$). La frecuencia de muda en las lagartijas fue más lenta en las temperaturas experimentales bajas (*A. huilae*: $135 \pm 8,2$ días; *A. tolimensis*: $52,2 \pm 11,8$ días), y más rápida en las temperaturas altas (*A. huilae*: $38,3 \pm 4,9$ días; *A. tolimensis*: $27 \pm 8,1$ días) (Tabla 1, Figura 2). Los valores Q_{10} para la frecuencia de muda en *A. huilae* fueron de 0,28 (entre 15 y $25\text{ }^{\circ}\text{C}$), y 0,52 en *A. tolimensis* (entre 17 y $27\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Discusión

Los datos obtenidos en *A. huilae* y *A. tolimensis* sobre el aumento de la frecuencia cardíaca con el incremento de las temperaturas experimentales reflejan la tendencia general

Tabla 1. Valores promedio de la frecuencia cardíaca (latidos por minuto) y de muda (número de días) en *A. huilae* y *A. tolimensis* a tres temperaturas experimentales

<i>A. huilae</i>			<i>A. tolimensis</i>		
T	FC	FM	T	FC	FM
15 °C	45,2 ± 5,4	135 ± 8,2	17 °C	53,3 ± 6,5	52,2 ± 11,8
20 °C	48,0 ± 4,8	68,6 ± 7,9	22 °C	54,6 ± 6,6	24 ± 4,9
25 °C	50,7 ± 5,5	38,2 ± 4,9	27 °C	57,3 ± 6,2	27 ± 8,1

T: temperatura, FC: frecuencia cardíaca, FM: frecuencia de muda; promedio ± desviación estándar

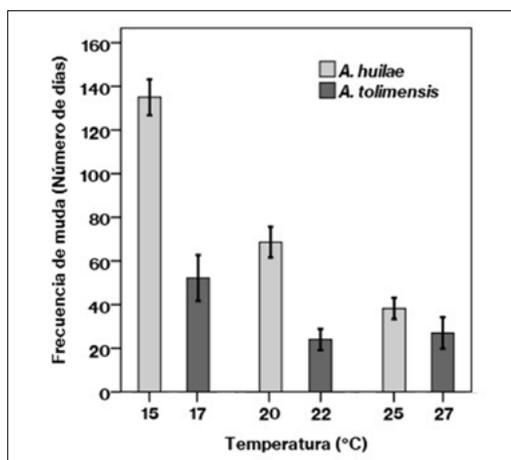


Figura 1. Comparación de la frecuencia cardíaca con relación a la temperatura en *Anolis huilae* y *Anolis tolimensis*. Las barras indican error estándar.

reportada en otros estudios con reptiles (Bennett, 1972; Butler, *et al.*, 2004; Aubret, *et al.*, 2013) cuyos procesos fisiológicos funcionan mejor dentro de ciertas temperaturas corporales y disminuyen fuera de su rango óptimo o curva de desempeño térmico (Angilletta, 2001; 2006). Este resultado implica que los incrementos en las temperaturas ambientales que actualmente se reportan pueden aumentar la frecuencia cardíaca y otras variables fisiológicas asociadas, como la tasa de asimilación energética (Angilletta, 2001) y la tasa metabólica de los organismos (Bennett & Dawson, 1976; Zari, 1991). Sin embargo, dado que en el valor Q_{10} encontrado para las dos especies (alrededor de 1,1) no hay un cambio que incremente notablemente la frecuencia cardíaca, es posible que estas especies se encuentren dentro del grupo de lagartos que tienen cierta capacidad de regular fisiológicamente su temperatura interna a través de la frecuencia cardíaca y el flujo sanguíneo (Grigg & Seebacher, 1999; Dzialowski & O'Connor, 2001; Seebacher & Grigg, 2001). También es posible que la respuesta individual al cautiverio ejerza algún impacto diferencial sobre las mediciones de la frecuencia cardíaca y su sensibilidad a la temperatura y que unas lagartijas sean más sensibles que otras, lo que se reflejó en el análisis de medidas repetidas, pero no en el valor Q_{10} .

Al comparar la frecuencia cardíaca de *A. huilae* medida a 25 °C (50,7 lpm) con las frecuencias cardíacas reportadas por Licht (1965) en otras especies de lagartos a la misma temperatura, estas presentaron valores notablemente más bajos, desde los 25 lpm en *Dipsosaurus dorsalis*, que tiene una longitud corporal (longitud hocico-cloaca) promedio de 13 cm, hasta 40 lpm en *Sceloporus graciosus*, con una longitud corporal de 4,7 a 6,9 cm. Tales diferencias en los resultados podrían explicarse por las variaciones en el tamaño corporal, ya que los individuos pequeños presentan una frecuencia cardíaca mayor (Randall, *et al.*, 2002), lo que también se comprobaría al contrastar los resultados de las dos especies aquí estudiadas, pues *A. huilae*, que es más grande que *A. tolimensis*, presentó una frecuencia cardíaca menor (Figura 1). No obstante, en otros lagartos como *Podarcis muralis*, con un tamaño corporal (5,2 a 6,5 cm) dentro del rango de las dos especies de este estudio, las frecuencias cardíacas reportadas a 25 °C por Aubret, *et al.* (2013) fueron de alrededor de 100 lpm, un valor alto en comparación con los datos reportados aquí con la misma metodología de registro cardíaco. Esto indica que la relación inversa y significativa entre el tamaño corporal y la frecuencia cardíaca no se presenta en todos los casos, y abre la posibilidad de que distintas especies de lagartos presenten diferencias fisiológicas asociadas con su grupo filogenético. Debido a la poca información que hay sobre las frecuencias cardíacas en lagartos, se requieren más estudios para establecer generalidades sobre estas variaciones dentro de cada especie y entre ellas, y sobre su sensibilidad ante los cambios de temperatura ambiental.

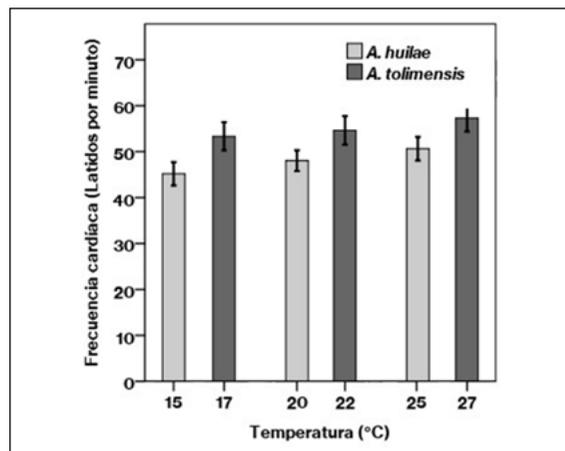


Figura 2. Comparación de la frecuencia de muda con relación a la temperatura en *Anolis huilae* y *Anolis tolimensis*. Las barras indican error estándar.

En cuanto a la frecuencia de muda, por primera vez se brinda información sobre las lagartijas *A. huilae* y *A. tolimensis* y sus variaciones en función de la temperatura ambiental. En ambas especies hubo una reducción en el tiempo de muda en las temperaturas altas: en *A. huilae* pasó de $135 \pm 8,2$ días a 15°C a $38,3 \pm 4,9$ días a 25°C , en tanto que en *A. tolimensis* cambió de $52,2 \pm 11,8$ días a 17°C a $27 \pm 8,1$ días a 27°C . Específicamente los datos del Q_{10} evidenciaron una reducción del tiempo de muda de 3,5 veces en *A. huilae* ($Q_{10}=0,28$) y de casi 2 veces en *A. tolimensis* ($Q_{10}=0,52$), lo que refleja un retardo importante en la renovación de su piel frente a un cambio en la temperatura ambiental de 10°C , lo que sucede en condiciones naturales, como ya se indicó. La relación inversa entre la frecuencia de muda y la temperatura se ha reportada en otros vertebrados ectotérmicos (Stefano & Donoso, 1964; Meyer, et al., 2012) y está relacionada con la reducción del metabolismo de los animales en las temperaturas más bajas, lo que hace que todos sus procesos fisiológicos sean más lentos, incluida la renovación de la capa epidérmica de su piel. Esto también se puede atribuir al hecho de que en las temperaturas bajas los animales redistribuyen su gasto energético en otro tipo de actividades vitales como la digestión, la locomoción, y la selección de microhábitats, entre otros (Harwood, 1979; Angilletta, et al., 2009; Schofield, et al., 2009), y el proceso de muda representa un gasto significativo de energía (Semlitsch, 1979) que se podría disminuir, especialmente bajo estas condiciones térmicas, por ejemplo en un 3% en *Elaphe guttata* o hasta en un 11 % en *Heterodon platyrhinos* (Smith, 1976).

De la poca información publicada sobre la frecuencia de muda en los lagartos a diferentes temperaturas para comparar con los resultados del presente estudio, se encuentra el reporte en *Tupinambis teguxin*. En ese estudio se encontró que los juveniles (longitud hocico-cloaca: 11 - 25 cm) tuvieron una frecuencia de muda de $28,01 \pm 7,1$ días, y los inmaduros (longitud hocico-cloaca: 25 - 32 cm) de $24,62 \pm 6,3$ días al mantenerlos a temperaturas diarias entre los 21 y los 34°C (Yanosky & Mereolli, 1991), valores similares a los encontrados para la especie *A. tolimensis* expuesta a 22 y 27°C . En otros reptiles como las serpientes, Smith (1976) reportó para *Heterodon platyrhinos* una frecuencia de muda de $38,3 \pm 3,66$ días, y para *Elaphe guttata*, de $40,5 \pm 2,75$ días a una temperatura de 25°C , en tanto que los individuos expuestos a 15°C tuvieron una frecuencia de muda más prolongada, aunque dicho tiempo no se especificó. Por su parte, Semlitsch (1979) encontró que en *Natrix fasciata* mantenida a $30,6^\circ\text{C}$ la frecuencia de muda fue de 18,1 días, en tanto que a $20,4^\circ\text{C}$ fue aproximadamente de 43 días. Como en el caso de la frecuencia cardíaca, son necesarios más estudios para determinar la frecuencia de muda en diversas especies de lagartos y evaluar cómo los factores ambientales asociados con el hábitat la pueden afectar, pues podrían potenciar enfermedades infecciosas asociadas con la piel. Por ejemplo, la presencia muy frecuente de ectoparásitos (Gallego, et al., 2012) o de microbios patógenos en lagartijas podría tener un mayor efecto negativo en las temperaturas bajas que en las altas, ya que el recambio de la piel y de los organismos asociados con ella son más lentos (Meyer, et al., 2012).

En conclusión, la frecuencia cardíaca aumentó en las lagartijas con el incremento de la temperatura experimental, así como la frecuencia de muda. Por su parte, la sensibilidad térmica de la frecuencia de muda fue notablemente más alta que la de la frecuencia cardíaca ante cambios experimentales de 10°C . Sin embargo, debido a los múltiples factores internos y externos que pueden afectar la medición de estos dos parámetros fisiológicos, se requieren más estudios para ampliar el conocimiento sobre la fisiología de los lagartos y ectotermos en general y su forma de responder a cambios en condiciones naturales como la temperatura ambiental.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Oficina de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad del Tolima (proyecto número 510114), y contó con el Permiso Marco de Recolección otorgado por la Corporación Autónoma del Tolima, CORTOLIMA (resolución número 3758 del 16 de noviembre de 2016), así como con el aval del comité de bioética de la Universidad del Tolima.

Contribución de los autores

MLBM: experimentos, análisis de los datos y escritura del manuscrito; JLTG: análisis de los datos y escritura del manuscrito; MHBB: concepción del estudio, diseño de los procedimientos experimentales, análisis de los datos y escritura del manuscrito

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Angilletta, M. J.** (2001). Thermal and physiological constraints on energy assimilation in a wide-spread lizard (*Sceloporus undulatus*). *Ecology*. **82**: 3044-3056. Doi: 10.1890/0012-9658(2001)082[3044:TAPCOE]2.0.CO;2
- Angilletta, M. J.** (2006). Estimating and comparing thermal performance curves. *Journal of Thermal Biology*. **31**: 541-545. Doi: 10.1016/j.jtherbio.2006.06.002
- Angilletta, M. J.** (2009). Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis. New York, United States: Oxford University Press. p. 289.
- Angilletta, M. J., Niewiarowski, P. H., Navas, C. A.** (2002). The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of Thermal Biology*. **27** (4): 249-268. Doi: 10.1016/S0306-4565(01)00094-8
- Angilletta, M. J., Sears, M. W., Pringle, R. M.** (2009). Spatial dynamics of nesting behavior: lizards shift microhabitats to construct nests with beneficial thermal properties. *Ecology*. **90** (10): 2933-2939. Doi: 10.1890/08-2224.1
- Ardila-Marín, D. A., Gaitán-Reyes, D. G., Hernández-Ruz, E. J.** (2008). Biología reproductiva de una población de *Anolis tolimensis* (Sauria: Iguanidae) en los Andes colombianos. *Caldasia*. **30** (1): 151-159.
- Aubret, F., Tort, M., Blanvillain, G.** (2013). A non-invasive method of measuring heart rates in small reptiles and amphibians. *Herpetological Review*. **44**: 421-423.
- Bejarano-Bonilla, D. A. & Bernal-Bautista, M. H.** (2019). Patrón de actividad diaria y de temperaturas ambientales y microambientales en una población de la lagartija endémica colombiana *Anolis huilae* (Squamata, Dactyloidae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **43** (166): 38-43. Doi: 10.18257/raccefyn.687
- Bennett, A. F.** (1972). The effect of activity on oxygen consumption, oxygen debt, and heart rate in the lizards *Varanus gouldii* and *Sauromalus hispidus*. *Journal of Comparative Physiology*. **79** (3): 259-280. Doi: 10.1007/BF00694220
- Bennett, A. F. & Dawson, W. R.** (1976). *Biology of the Reptilia: Metabolism*. New York, United States: New York Academic Press. p. 373.
- Boulenger, G. A.** (1908). Description of new batrachians and reptiles discovery by Mr. M.C. Palmer in south-western Colombia. *Annals and Magazine of Natural History*. **8** (2): 515-522.
- Bustard, H. R. & Maderson, P. F. A.** (1965). The eating of shed epidermal material in squamate reptiles. *Herpetologica*. **21** (4): 306-308.
- Butler, P. J., Green, J. A., Boyd, I. L., Speakman, J. R.** (2004). Measuring metabolic rate in the field: the pros and cons of the doubly labelled water and heart rate methods. *Functional Ecology*. **18** (2): 168-183. Doi: 10.1111/j.0269-8463.2004.00821.x
- Carvajal-Cogollo, J. E. & Urbina-Cardona, J. N.** (2008). Patrones de diversidad y composición de reptiles en fragmentos de bosque seco tropical en Córdoba, Colombia. *Tropical Conservation Science*. **1** (4): 397-416. Doi: 10.1177/194008290800100407
- Diele-Viegas, L. M., Vitt, L. J., Sinervo, B., Colli, G. R., Werneck, F. P., Miles, D. B., Pontes, E.** (2018). Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata). *PloS One*. **13** (3): e0192834. Doi: 10.1371/journal.pone.0192834
- Du, W. G., Ye, H., Zhao, B., Warner, D. A., Shine, R.** (2010a). Thermal acclimation of heart rates in reptilian embryos. *PLoS One*. **5** (12): e15308. Doi: 10.1371/journal.pone.0015308
- Du, W. G., Zhao, B., Shine, R.** (2010b). Embryos in the fast lane: high-temperature heart rates of turtles decline after hatching. *PLoS One*. **5** (3): e9557. Doi: 10.1371/journal.pone.0009557
- Dzialowski, E. M. & O'Connor, M. P.** (2001). Thermal time constant estimation in warming and cooling ectotherms. *Journal of Thermal Biology*. **26** (3): 231-245. Doi: 10.1016/S0306-4565(00)00050-4
- Gallego, C. A., Castro, C. F., Torres, K. A., Forero, J. S.** (2012). Relación uso de hábitat y ectoparasitismo en una población de *Anolis antonii* (Dactyloidae) en Llanitos, Tolima-Colombia. *The Biologist*. **10** (2): 99.

- Gallego-Carmona, C. A., Castro-Arango, J. A., Bernal-Bautista, M. H.** (2016). Effect of habitat disturbance on the body condition index of the Colombian endemic lizard *Anolis antonii* (Squamata: Dactyloidae). *South American Journal of Herpetology*. **11** (3): 183-188. Doi: 10.2994/SAJH-D-16-00020.1
- Green, J. A.** (2011). The heart rate method for estimating metabolic rate: review and recommendations. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. **158** (3): 287-304. Doi: 10.1016/j.cbpa.2010.09.011
- Grigg, G. C. & Seebacher, F.** (1999). Field test of a paradigm: hysteresis of heart rate in thermoregulation by a free-ranging lizard (*Pogona barbata*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. **266** (1425): 1291-1297. Doi: 10.1098/rspb.1999.0777
- Grisales-Martinez, F. A., Velasco, J. A., Bolivar, W., Williams, E. E., Daza, J. M.** (2017). The taxonomic and phylogenetic status of some poorly known *Anolis* species from the Andes of Colombia with the description of a *nomen nudum* taxon. *Zootaxa*. **4303** (2): 213-230. Doi: 10.11646/zootaxa.4303.2.2
- Harwood, R. H.** (1979). The effect of temperature on the digestive efficiency of three species of lizards, *Cnemidophorus tigris*, *Gerrhonotus multicarinatus* and *Sceloporus occidentalis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. **63** (3): 417-433. Doi: 10.1016/0300-9629(79)90613-3
- Jørgensen, C. B. & Larsen, L. O.** (1960). Hormonal control of moulting in amphibians. *Nature*. **185** (4708): 244-245. Doi: 10.1038/185244a0
- Kruskal, W. H. & Wallis, W. A.** (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American statistical Association*. **47** (260): 583-621. Doi: 10.2307/2280779
- Licht, P.** (1965). Effects of temperature on heart rates of lizards during rest and activity. *Physiological Zoology*. **38** (2): 129-137.
- Ling, J. K.** (1972). Adaptive functions of vertebrate molting cycles. *American Zoologist*. **12** (1): 77-93. Doi: 10.1093/icb/12.1.77
- Meyer, E. A., Cramp, R. L., Bernal, M. H., Franklin, C. E.** (2012). Changes in cutaneous microbial abundance with sloughing: possible implications for infection and disease in amphibians. *Diseases of aquatic organisms*. **101** (3): 235-242. Doi: 10.3354/dao02523
- Patrakov, S. V. & Kuranova, V. N.** (2006). Variation of moulting activity in *Lacerta agilis* and *Zootoca vivipara* (Reptilia: Sauria: Lacertidae). In *Proceedings of the 13th Congress of the Societas Europaea Herpetologica*. **111**: 113.
- Piercy, J., Rogers, K., Reichert, M., Andrade, D. V., Abe, A. S., Tattersall, G. J., Milsom, W. K.** (2015). The relationship between body temperature, heart rate, breathing rate, and rate of oxygen consumption, in the tegu lizard (*Tupinambis merrianae*) at various levels of activity. *Journal of Comparative Physiology B*. **185** (8): 891-903. Doi: 10.1007/s00360-015-0927-3
- Randall, D., Burggren, W., French, K.** (2002). *Eckert Fisiología Animal: mecanismos y adaptaciones* (4th Edition). Madrid, España: Graw-Hill Interamericana. p. 802
- Raske, M., Lewbart, G. A., Dombrowski, D. S., Hale, P., Correa, M., Christian, L. S.** (2012). Body temperatures of selected amphibian and reptile species. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. **43** (3): 517-521. Doi: 10.2307/41681870
- Sabagh, L. T. & Carvalho-e-Silva, A. M.** (2008). Feeding overlap in two sympatric species of *Rhinella* (Anura: Bufonidae) of the Atlantic Rain Forest. *Revista Brasileira de Zoologia*. **25** (2): 247-253. Doi: 10.1590/S0101-81752008000200013
- Schofield, G., Bishop, C. M., Katselidis, K. A., Dimopoulos, P., Pantis, J. D., Hays, G. C.** (2009). Microhabitat selection by sea turtles in a dynamic thermal marine environment. *Journal of Animal Ecology*. **78** (1): 14-21. Doi: 10.1111/j.1365-2656.2008.01454.x
- Seebacher, F.** (2000). Heat transfer in a microvascular network: the effect of heart rate on heating and cooling in reptiles (*Pogona barbata* and *Varanus varius*). *Journal of Theoretical Biology*. **203** (2): 97-109. Doi: 10.1006/jtbi.1999.1067
- Seebacher, F. & Franklin, C. E.** (2005). Physiological mechanisms of thermoregulation in reptiles: a review. *Journal of Comparative Physiology B*. **175** (8): 533-541. Doi: 10.1007/s00360-005-0007-1
- Seebacher, F. & Grigg, G.** (2001). Changes in heart rate are important for thermoregulation in the varanid lizard *Varanus varius*. *Journal of Comparative Physiology B*. **171** (5): 395-400. Doi: 10.1007/s003600100188
- Semlitsch, R. D.** (1979). The influence of temperature on ecdysis rates in snakes (genus *Natrix*) (Reptilia, Serpentes, Colubridae). *Journal of Herpetology*. **13** (2): 212-214. Doi: 10.2307/1563932
- Smith, G. C.** (1976). Ecological energetics of three species of ectothermic vertebrates. *Ecology*. **57** (2): 252-264. Doi: 10.2307/1934814

- Stefano, F. J. & Donoso, A. O.** (1964). Hypophyso-adrenal regulation of moulting in the toad. *General and comparative endocrinology*. **4** (5): 473-480. Doi: 10.1016/0016-6480(64)90055-3
- Triana, T. M., Henao, L. M., Bernal, M. H.** (2013). Comparación ontogénica de la frecuencia de muda en *Rhinella marina* (Anura, Bufonidae). *Iheringia Série Zoologia*. **103** (1): 47-50. Doi: 10.1590/S0073-47212013000100007
- Uetz, P., Freed, P. Hošek, J.** (eds.) (2020). The Reptile Database. http://reptiledatabase.reptarium.cz/species?genus=Anolis&species=tolimensis&search_param=%28%28search%3D%27anolis+tolimensis%27%29%29
- Wells, K. D.** (2010). *The ecology and behavior of amphibians*. Chicago-London: University of Chicago Press. p. 1400
- Williams, E. E.** (1982). Three New Species of the *Anolis punctatus* complex from Amazonian and inter-Andean Colombia, with comments on the eastern members of the punctatus species group. *Breviora*. **467**: 1-38. Doi: 10.5962/bhl.part.28050
- Yanosky, Á. A. & Mercolli, C.** (1991). Temperaturas internas y frecuencias de muda en crías de *Tupinambis teguixin* (Reptilia: Teiidae) bajo condiciones controladas. *Cuadernos de Herpetología*. **6** (4): 23-26.
- Zari, T. A.** (1991). The influence of body mass and temperature on the standard metabolic rate of the herbivorous desert lizard, *Uromastix microlepis*. *Journal of Thermal Biology*. **16** (3): 129-133. Doi: 10.1016/0306-4565(91)90033-X