



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ACTIVIDAD CARDÍACA DURANTE LA  
TERMORREGULACIÓN DEL ALICANTE DE MONTAÑA,  
*Barisia imbricata* (SQUAMATA: ANGUIDAE): IMPORTANCIA  
DE LOS MECANISMOS COLINÉRGICO Y ADRENÉRGICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA)**

P R E S E N T A:

**BIÓL. LAURA SONIA ARZATE GARAY**



COMITÉ TUTORAL:

DR. JOSELE RICARDO FLORES SANTIN (Tutor académico)

DR. OSWALDO HERNÁNDEZ GALLEGOS (Tutor adjunto)

DR. JOSÉ FERNANDO MÉNDEZ SÁNCHEZ (Tutor adjunto)

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO

Octubre 2024

## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	4
DEDICATORIA.....	5
LISTA DE ABREVIATURAS .....	6
RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
Termorregulación.....	8
Corazón de los reptiles .....	9
Sistema Nervioso Autónomo .....	9
<i>Barisia imbricata</i> .....	10
ANTECEDENTES .....	11
Histéresis de la frecuencia cardíaca en <i>Pogona barbata</i> e importancia de mecanismos colinérgicos y $\beta$ -adrenérgicos en la regulación.....	11
Histéresis de la frecuencia cardíaca e intercambio de calor en ayunas y postprandial de <i>Varanus exanthematicus</i> .....	11
Histéresis de la frecuencia cardíaca y regulación en el grupo Crocodylia .....	12
Variabilidad en el ritmo cardíaco de la lagartija tegu <i>Salvator merianae</i> y control de la respuesta cardiorrespiratoria.....	12
Prostaglandinas en la termorregulación de <i>Phrynocephalus przewalskii</i> .....	13
Prostaglandinas reguladoras de la histéresis de la frecuencia cardíaca en <i>Pogona vitticeps</i> .....	13
JUSTIFICACIÓN .....	14
HIPÓTESIS.....	14
OBJETIVOS .....	14
Generales .....	14
Particulares.....	14
METODOLOGÍA .....	15
Área de estudio .....	15
Recolecta de individuos .....	15
Protocolo farmacológico y tratamientos .....	16
Instrumentación catéter intraperitoneal.....	17
Registro de actividad cardíaca y temperatura corporal. ....	17
Cámara de temperatura .....	18

Análisis estadístico.....	20
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>
Efecto de los tratamientos y de la temperatura en la frecuencia cardíaca .....	21
Efecto en la temperatura corporal .....	24
Q <sub>10</sub> (Coeficiente de temperatura) .....	28
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>37</b>



## LISTA DE ABREVIATURAS

$Q_{10}$ : Coeficiente de temperatura

SNA: Sistema nervioso autónomo

$T_b$ : Temperatura corporal

$T_e$ : Temperatura ambiental

BPM: Frecuencia cardíaca

LHC: Longitud hocico-cloaca

$M_1$ -  $M_5$ : Receptores muscarínicos

$\beta_1$  y  $\beta_2$ : Receptores  $\beta$  adrenérgicos



## RESUMEN

El corazón de algunas especies de reptiles presenta un incremento de la frecuencia cardíaca cuando existe un aumento en la temperatura corporal, dicha frecuencia será más rápida que durante la disminución de temperatura, este mecanismo se denomina como “histéresis de la frecuencia cardíaca”. *Barisia imbricata*, es una especie de lagartija con una amplia distribución altitudinal, ocupando sitios con una variación térmica, incluyendo temperaturas bajas extremas y ambientes de hipoxia altitudinal relativa, características propias de un ambiente de alta montaña. Se plantea que *B. imbricata* posee mecanismos fisiológicos adaptativos cardiovasculares regulados por mecanismos colinérgicos y/o adrenérgicos para hacer frente a estos ambientes térmicamente heterogéneos. Para determinar la regulación autónoma, se realizó estimulación farmacológica simpática y parasimpática (Propranolol y Atropina, respectivamente). Cada individuo se instrumentó para la detección de actividad cardíaca y temperatura corporal 1 hora previo a la aplicación del tratamiento para después someterlos a un régimen de cambios de temperatura (10 °C hasta 35 °C). Los resultados indican que *B. imbricata* presenta histéresis de la frecuencia cardíaca inversa a la registrada para otros reptiles, lo cual podría estar relacionado con mecanismos auxiliares como los shunts cardíacos, para mantener el suministro de oxígeno. Por otra parte, existen diferencias significativas entre machos y hembras en frecuencia cardíaca y temperatura corporal, los machos muestran una mayor frecuencia cardíaca y mayor temperatura corporal. La lagartija *B. imbricata* tiene mecanismos fisiológicos reguladores, similares a reptiles de gran tamaño. Se determinó con base en los resultados que el SNA es el principal regulador de histéresis de la frecuencia cardíaca en *B. imbricata*, pero no se descarta que existan otros mecanismos reguladores de actividad cardíaca.

Palabras clave: Adrenérgico, *Barisia imbricata*, colinérgico, frecuencia cardíaca termorregulación.

# INTRODUCCIÓN

## Termorregulación

La termorregulación en reptiles y en otros ectotermos es un proceso regulatorio que permite a los organismos alcanzar y mantener una temperatura óptima para poder realizar sus actividades biológicas cotidianas (Avery, 1979; Cowles & Bogert, 1994). Este proceso implica aspectos conductuales, morfológicos y fisiológicos, así como características térmicas del ambiente relativamente constante. Para los reptiles, el factor que más incide en su biología es la temperatura. Un reptil por debajo de su temperatura corporal óptima será menos activo que cuando se encuentra dentro de su óptimo térmico. Por lo tanto, su capacidad de desempeño refleja la influencia de la temperatura en diferentes procesos fisiológicos como digestión, regulación hormonal, regulación de actividad cardíaca, etc. (Vitt & Caldwell, 2014).

Un animal ectotermo tiene una capacidad limitada para retener suficiente calor metabólico para elevar su temperatura corporal por encima de la temperatura ambiente, su temperatura corporal está determinada en gran medida por el intercambio de calor con su entorno, pero puede utilizar mecanismos de comportamiento o fisiológicos para regularla (Seebacher & Franklin, 2005).

Los animales ectotermos se dividen en heliotermos, aquellos que obtienen calor directamente de la radiación solar y tigmotermos, animales que obtienen calor de alguna superficie como sustrato o rocas. Aunque estos términos son útiles, se deben utilizar con precaución, ya que algunos animales emplean ambos modos para la obtención de calor (Hutchison & Drupe, 1992). Se ha observado que algunas especies de lagartijas han mostrado ser heliotermas una parte del año y tigmotermas en otra (Rivera-Rea et al., 2023).

Algunos reptiles regulan su temperatura corporal aprovechando el tiempo de exposición al sol y algunas superficies cálidas del ambiente para obtener calor y sombra, también usan refugios y superficies frescas para perder exceso de calor (Vitt & Caldwell, 2014).

Los reptiles heliotérmicos regulan su temperatura corporal por mecanismos conductuales, pero la efectividad de la termorregulación conductual puede incrementarse por cambios en la transferencia interna de calor provocados por modificaciones en la frecuencia cardíaca y el flujo sanguíneo (Seebacher, 2000).

Algunos lagartos termorregulan a través de conductas como desplazamientos, cambios de postura o elección de microhábitats que pueden ser refugios, sitios naturales o artificiales, algunos usan propiedades biofísicas, como cambios en el color para obtener calor



más rápido, esto les proporciona una mayor ventaja en el control de las tasas de calentamiento y enfriamiento (Bartholomew, 1982; González-Morales et al., 2021; Arzate-Garay et al., 2024).

## **Corazón de los reptiles**

El corazón en vertebrados ha tenido diversos cambios a lo largo de la evolución, desde una sola aurícula y un solo ventrículo a un sistema circulatorio doble, con dos aurículas separadas y una división parcial o completa del ventrículo (Hicks & Wang, 2012). A diferencia de los cocodrilos donde el corazón es tetracameral el corazón de los escamados y tortugas es tricameral, con dos aurículas y un ventrículo no dividido. El ventrículo se divide en cavum arterioso, cavum venoso y cavum pulmonar. La aurícula derecha recibe sangre venosa desoxigenada del seno venoso y desemboca en el cavum venoso del ventrículo. La aurícula izquierda recibe sangre oxigenada de los pulmones a través de las venas pulmonares y desemboca en el cavum arteriosum (Kardong, 2006).

## **Sistema Nervioso Autónomo**

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) presenta un patrón básico, compuesto por una fibra nerviosa preganglionar cuyo cuerpo se encuentra en el sistema nervioso central y cuyo axón hace sinapsis con un nervio periférico que inerva al tejido receptor. A diferencia del SNA de los mamíferos donde los nervios autónomos viscerales se encuentran segregados en regiones anatómicas simpáticas (torácico-lumbares) y parasimpáticas (cráneo-sacras), en reptiles los nervios autónomos viscerales se encuentran a lo largo de la médula espinal y pueden tener ambos componentes, tanto simpáticos como parasimpáticos (Wyneken, 2007).

El sistema nervioso simpático en vertebrados está formado por ganglios bilaterales (Tronco simpático), fibras preganglionares que están mielinizadas y emergen segmentariamente en la región del tronco entre los plexos de las extremidades (patas, cola, etc.). Las fibras postganglionares no están mielinizadas y hacen sinapsis con el tronco simpático a lo largo de todo el cuerpo (Young et al., 2011). Las fibras preganglionares más rostrales inervan corazón, pulmones y órganos craneales, las fibras medias y caudales inervan los vasos sanguíneos periféricos, el canal alimentario, cromatóforos en algunas lagartijas, el bazo y el sistema urogenital. El neurotransmisor principal del sistema nervioso simpático es norepinefrina (noradrenalina) pero en algunas ocasiones la epinefrina (Adrenalina) estimula la contracción en el sistema reproductor de algunas lagartijas (Wyneken, 2007; Nilsson, 2011).

En cuanto al sistema parasimpático en reptiles, así como en vertebrados superiores el principal neurotransmisor es la acetilcolina. Esta división parasimpática restablece el estado de reposo, contrae los pulmones, disminuye el ritmo cardiaco y permite que el metabolismo vuelva a su estado basal (Taylor et al., 2010; Nilsson, 2011).

### ***Barisia imbricata***

El Estado de México alberga una herpetofauna de aproximadamente 150 especies, 49 especies de anfibios y 101 especies de reptiles (Lemos-Espinal & Smith, 2020). Dentro de estas especies se encuentra el Alicante de Montaña, *Barisia imbricata*; una lagartija endémica de México, perteneciente a la familia Anguidae. Se distribuye en diferentes estados de la República Mexicana principalmente en la Faja Volcánica Transmexicana. Se encuentra en un intervalo de altitud 2200 a 4060 m (Guillete & Smith, 1982; Lemos Espinal & Dixon, 2017; Sunny et al., 2017). En el Estado de México *B. imbricata* comparte distribución con *Barisia rudicollis* que se encuentra en un intervalo de altitud de 2000 a 2550 m (Zaldivar-Riveron & de Oca, 2001) y *Barisia herrerae* que se encuentra en un intervalo altitudinal de 2350 a 2615 m, lo que hace a *B. imbricata* la especie con mayor distribución altitudinal entre las otras especies presentes en el Estado de México (Ramírez-Bautista et al., 2009; Aguilar-Miguel et al., 2021; Arzate-Garay et al., 2024).

*Barisia imbricata* habita ambientes cálidos principalmente en bosques de pino-encino, es de hábitos diurnos, terrestres y en algunos casos arborícolas (Arzate-Garay et al., 2022). Se puede encontrar en zacatonales amacollados, en agujeros o en zonas abiertas de la superficie terrestre (Ramírez-Bautista, 2009; Lemos Espinal & Dixon, 2017). El dimorfismo sexual en adultos se ha determinado por el patrón de la coloración dorsal: los machos presentan color verde olivo o marrón, mientras que las hembras moteadas tienen franjas laterales de colores claros, crema y grises, en algunos casos se han registrado colores atípicos en la especie, como coloraciones rojizas y naranjas derivadas de eritrismo (Arzate-Garay et al., 2023). Debido a estas variaciones de coloración, el uso del patrón dorsal para el sexado de esta especie no es un factor determinante; asimismo, se ha documentado que algunas hembras pueden presentar órganos copuladores muy similares a los hemipenes en machos, por lo que se sugiere el sexado por eversión de hemipenes y la determinación del sexo si el ejemplar presenta corona en los hemipenes como macho y hembra por la ausencia de esta (Dashevsky et al., 2013; Martínez-Torres et al., 2015).

La temperatura corporal de actividad más baja registrada en la especie es de 9.1°C, esto es extremadamente baja en comparación a otros lacertilios. Registrada como una especie euritérmica, *B. imbricata* presenta una alta tolerancia a un ambiente con cambios bruscos de temperatura (Fierro-Estrada et al., 2019).

## ANTECEDENTES

Se planteó una respuesta de histéresis de la frecuencia cardíaca en *Barisia imbricata* similar a la registrada en lacertilios de mayor tamaño (i. e., *Pogona* y *Varanus*). La frecuencia ventilatoria registrada presenta diferencias significativas antes cambios de temperatura. El  $Q_{10}$  de la frecuencia cardíaca aumenta con la temperatura ambiental ( $Q_{10}= 1.36 - 1.96$ ) mientras que en intervalos de temperatura de 10- 35 °C, el de la frecuencia ventilatoria disminuye ( $Q_{10}= 1.46 - 1.11$ ). mayor tamaño (Arzate-Garay, 2022).

### **Histéresis de la frecuencia cardíaca en *Pogona barbata* e importancia de mecanismos colinérgicos y $\beta$ -adrenérgicos en la regulación**

Seebacher & Franklin (2001) analizaron la actividad cardíaca de *Pogona barbata*, durante el aumento y disminución de temperatura. Se observó que, durante el calentamiento, el ritmo cardíaco aumentaba rápidamente y durante el enfriamiento el ritmo cardíaco disminuía lentamente, este fenómeno es llamado histéresis del ritmo cardíaco; también, se analizó la importancia de los mecanismos colinérgicos y  $\beta$ -adrenérgicos. Se determinó que estos mecanismos no son los únicos mecanismos de control que actúan sobre el corazón durante el aumento y disminución de temperatura, pero tiene un efecto significativo en la frecuencia cardíaca y en las tasas de calentamiento y enfriamiento (Seebacher & Franklin, 2001).

### **Histéresis de la frecuencia cardíaca e intercambio de calor en ayunas y postprandial de *Varanus exanthematicus***

Se examinó si la digestión afecta la velocidad de calentamiento y enfriamiento corporal, así como la histéresis de la frecuencia cardíaca en los lagartos monitores de la sabana (*Varanus exanthematicus*). Zaar et al., (2004) analizaron lagartos en ayunas después de 5 días de privación de alimentos y un grupo de lagartos en digestión aproximadamente 24 horas después de ingerir alimento (ratones muertos), que equivalían al 10% de su masa corporal. La frecuencia cardíaca se midió mientras la  $T_b$  se aumentaba de 28 a 38 °C bajo una lámpara de calor y también cuando la  $T_b$  disminuía durante una fase de enfriamiento posterior. Los lagartos presentaron histéresis en la frecuencia cardíaca y el calentamiento se produjo más rápido que el enfriamiento. La alimentación provocó un aumento de la frecuencia cardíaca (aproximadamente 20 min independientemente de  $T_b$ ), pero no afectó la tasa de cambio de temperatura durante el calentamiento o enfriamiento. Por lo tanto, se concluyó que es probable que el aumento del flujo sanguíneo durante la digestión se distribuya exclusivamente a los órganos viscerales y que la conductancia térmica no se vea

afectada por la elevada tasa metabólica durante la digestión idem, en caso de que no, cambiar la redacción para que se vea que fue un estudio previo (Zaar et al., 2004) .

### **Histéresis de la frecuencia cardíaca y regulación en el grupo Crocodylia**

La evidencia actual para el grupo Crocodylia sugiere que las sustancias vasoactivas producidas localmente como óxido nítrico y prostaglandinas regulan la respuesta cardiovascular de reptiles durante la fase de calentamiento, para esto se ha midió la frecuencia cardíaca y la presión arterial de la especie *Crocodylus porosus* durante calentamiento y enfriamiento, mientras se inhibían las enzimas óxido nítrico sintasa y ciclooxigenasa. La frecuencia cardíaca y la presión arterial fueron significativamente más altas durante el calentamiento que durante el enfriamiento en todos los tratamientos (histéresis de la frecuencia cardíaca). La densidad espectral de potencia de la frecuencia cardíaca y la presión arterial aumentaron significativamente durante el calentamiento y el enfriamiento en comparación con el período de equilibrio térmico. Se concluyó que el sistema nervioso autónomo controla la frecuencia cardíaca independientemente de la presión arterial en frecuencias más altas, mientras que los cambios en la presión arterial determinan la frecuencia cardíaca en frecuencias más bajas. El óxido nítrico y las prostaglandinas no controlan la respuesta de histéresis de la frecuencia cardíaca característica al calentamiento en *C. porosus*, aunque el óxido nítrico fue importante para amortiguar la presión arterial frente a los cambios en la frecuencia cardíaca durante el enfriamiento, y la inhibición provocó una disminución compensatoria en la estimulación parasimpática del corazón (Seebacher & Franklin, 2004) .

También, se analizó la función cardiovascular en embriones de caimán *Alligator mississippiensis* durante calentamiento y enfriamiento a diferentes temperaturas. Se midió la presión arterial y la frecuencia cardíaca en respuesta al enfriamiento de 30 a 26 °C, calentamiento de 26 a 36 °C y se evaluó el barorreflejo cardíaco en 30 y 36 °C. La frecuencia cardíaca embrionaria aumentó durante calentamiento y disminuyó en enfriamiento, mientras que los embriones estaban hipotensos a las temperaturas 26 y 36 °C, aunque la presión arterial no cambio entre los eventos de calentamiento o enfriamiento. Se observó una clara histéresis de frecuencia cardíaca dependiente de la temperatura. La regulación cardiovascular a través de la rama cardíaca del barorreflejo no se vio afectada por la temperatura, a pesar de que estudios previos sugieren que el tono vagal está presente tanto a temperaturas bajas como altas (Nelson et al., 2018).

### **Variabilidad en el ritmo cardíaco de la lagartija tegu *Salvator merianae* y control de la respuesta cardiorrespiratoria**

Se planteó identificar las bases neuronales de la regulación de la función cardíaca en lagartijas tegu *Salvator merianae*, usando el registro remoto de frecuencia cardíaca, técnicas

farmacológicas y neuroanatómicas. Se observó que las neuronas preganglionares vágales se encuentran en grupos discretos en el núcleo motor, también se observó que fibras nerviosas mielinizadas en el vago cardíaco permiten una comunicación más rápida entre sistemas nervioso central y el corazón. Se identificaron componentes de la variabilidad de la frecuencia cardíaca relacionada con la arritmia sinusal respiratoria. Se determinó que estas interacciones cardiorrespiratorias dependen del brazo parasimpático del sistema nervioso autónomo (Duran et al., 2020).

### **Prostaglandinas en la termorregulación de *Phrynocephalus przewalskii***

En *Phrynocephalus przewalskii* se analizó la participación de las prostaglandinas en la regulación de la respuesta cardiovascular durante el enfriamiento y calentamiento y las neuronas reguladoras de la temperatura en el hipotálamo de la lagartija de menor tamaño *Phrynocephalus przewalskii*. En los tratamientos la administración de prostaglandinas agonistas solo produjo un efecto significativo en la frecuencia cardíaca por debajo de 25 °C. Se determinó que las prostaglandinas desempeñan un papel limitado en la regulación de la actividad cardíaca en *P. przewalskii* y sugiere que las neuronas sensibles al frío en el hipotálamo preóptico y anterior (PO/AH) están involucradas en el control de la termorregulación durante el calentamiento o el enfriamiento (Liu et al., 2006).

### **Prostaglandinas reguladoras de la histéresis de la frecuencia cardíaca en *Pogona vitticeps***

Se demostró que la histéresis de la frecuencia cardíaca es ecológicamente importante para algunos reptiles ectotérmicos y está regulada por prostaglandinas. Se aplicó un tratamiento control (Solución salina) en 11 lagartijas de la especie *Pogona vitticeps*, se observó que la frecuencia cardíaca fue significativamente más rápida durante el calentamiento que durante el enfriamiento en todas las temperaturas corporales determinadas. Se inhibieron las enzimas ciclooxigenasa 1 y 2 y en este caso la frecuencia cardíaca no fue significativamente más rápida durante el calentamiento y el enfriamiento. Se administraron antagonistas y se demostró que el Tromboxano B<sub>2</sub> no tuvo efecto significativo en la frecuencia cardíaca pero la Prostaciclina y Prostaglandina F<sub>2α</sub> causaron un aumento significativo de la frecuencia cardíaca en comparación con el grupo control. Se especuló que la histéresis de la frecuencia cardíaca evolucionó como un mecanismo termorregulador que puede controlarse mediante la estimulación inducida neuronalmente de la producción de óxido nítrico o mediante la producción de vitamina D inducida fotolíticamente (Seebacher & Franklin, 2003).

## JUSTIFICACIÓN

*Barisia imbricata* es una lagartija con gran importancia ecológica que al contar con una amplia distribución altitudinal podría representar un modelo de estudio adecuado de las capacidades adaptativas a nivel fisiológico de los reptiles de alta montaña, lo que ayudará a entender cómo se comportan las poblaciones de estos vertebrados ante el cambio climático, así como predecir que especies será más susceptibles a la extinción y cuales podrían ser consideradas un modelo predictivo. Por lo que se propone en el presente proyecto analizar la importancia de los mecanismos fisiológicos (colinérgico y adrenérgico) en la regulación de la histéresis de la frecuencia cardíaca, que es probable que sea una capacidad adaptativa desarrollada por *B. imbricata* para hacer frente a climas cambiantes.

## HIPÓTESIS

La respuesta de histéresis de la frecuencia cardíaca en *Barisia imbricata* estará regulada por mecanismos del Sistema Nervioso Autónomo.

## OBJETIVOS

### Generales

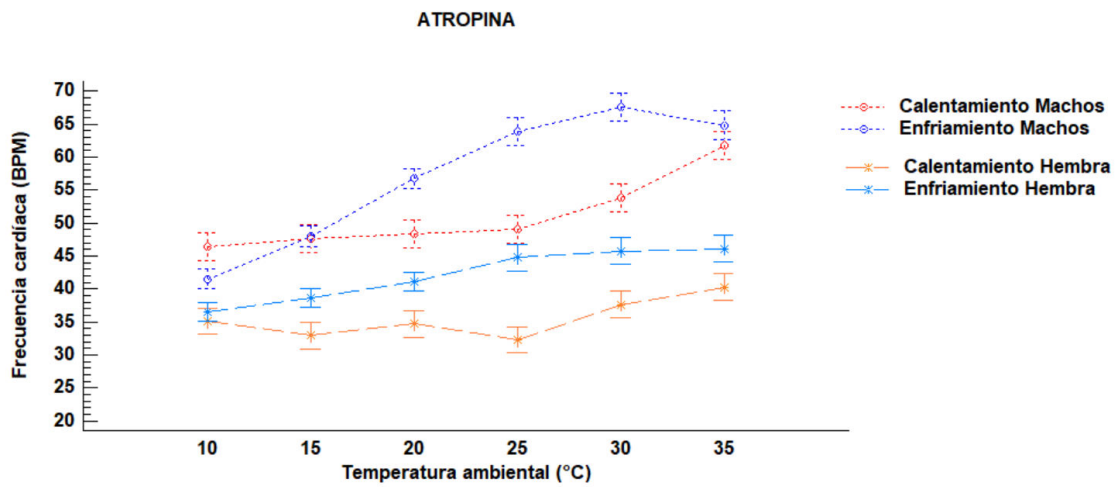
Determinar si la histéresis de la frecuencia cardíaca de *Barisia imbricata* durante la termorregulación está regulada por los mecanismos del Sistema Nervioso Autónomo.

### Particulares

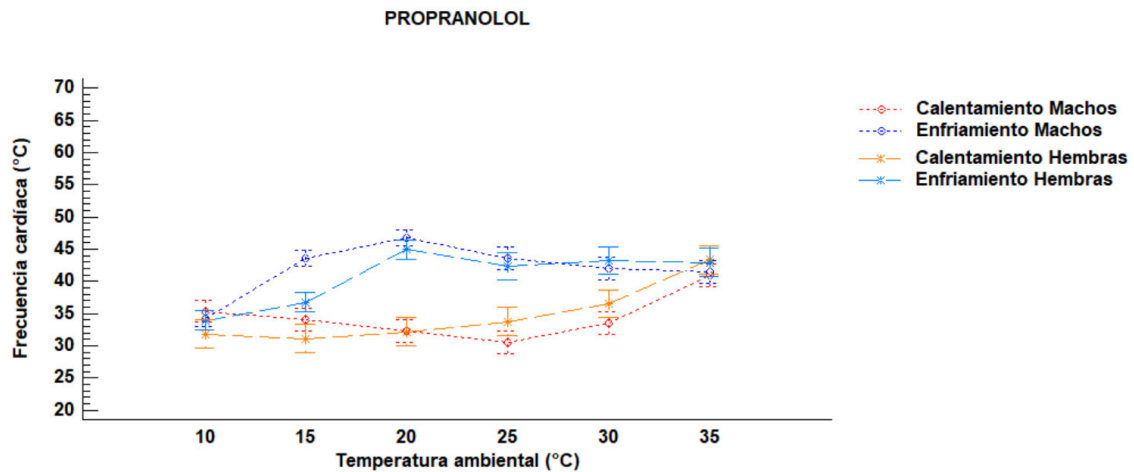
Determinar si en *B. imbricata* la histéresis de la frecuencia cardíaca durante la termorregulación está regulada por:

- Mecanismos parasimpáticos bajo un tratamiento antagonista colinérgico (Atropina)
- Mecanismos simpáticos bajo un tratamiento beta bloqueador (Propranolol)



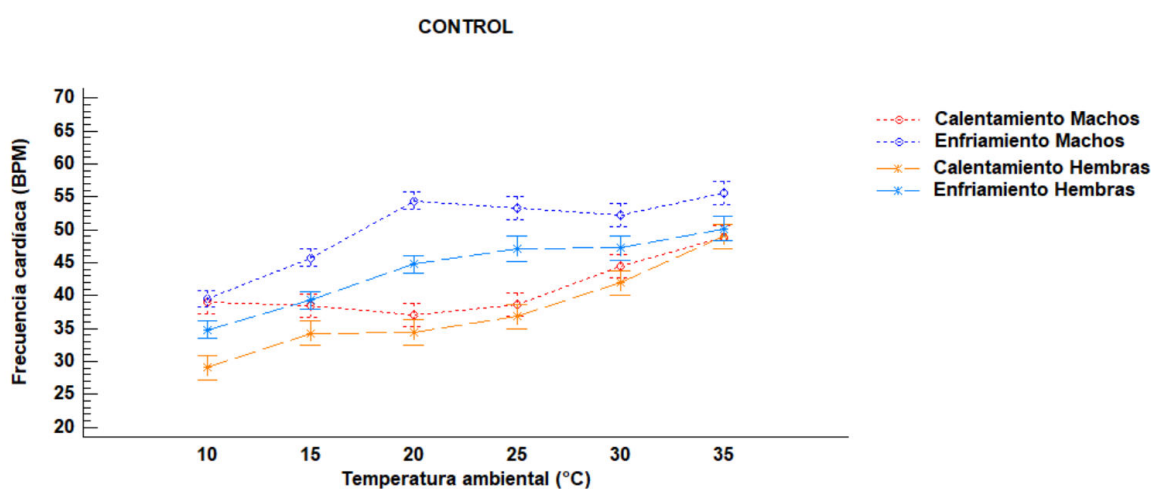


**Figura 4.** Medias de la frecuencia cardíaca (BPM) de machos y hembras bajo tratamiento de Atropina en un régimen de cambios de temperatura ambiental ( $T_e$ ). El punto representa la media con los intervalos de confianza del 95% determinados por Tukey HSD.

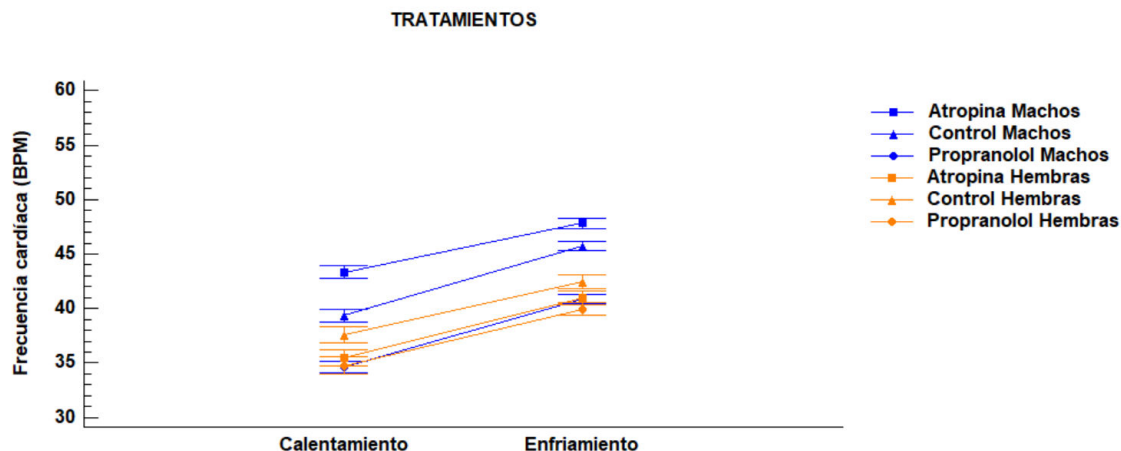


**Figura 5.** Medias de la frecuencia cardíaca (BPM) de machos y hembras bajo tratamiento de Propranolol en un régimen de cambios de temperatura ( $T_e$ ). El punto representa la media y los bigotes intervalos de confianza del 95% determinados por Tukey HSD.

En el tratamiento control se observó una diferencia significativa de la frecuencia cardíaca (BPM) entre machos y hembras ( $F_{1, 10498} = 287.44$ ,  $P < 0.05$ ). En machos se observó una diferencia significativa de la frecuencia cardíaca (BPM) entre el calentamiento y enfriamiento ( $F_{1, 5249} = 399.0$ ,  $P < 0.05$ ) y diferencia significativa entre los intervalos de temperatura ambiental ( $T_e$ ) de 10 a 35°C ( $F_{5, 5249} = 81.36$ ,  $P < 0.05$ ). En hembras se observó una diferencia significativa de la frecuencia cardíaca (BPM) entre el calentamiento y enfriamiento ( $F_{1, 5249} = 100.94$ ,  $P < 0.05$ ) y diferencia significativa entre los intervalos de temperatura ambiental ( $T_e$ ) de 10 a 35°C ( $F_{5, 5249} = 115.67$ ,  $P < 0.05$ ) (**Figura 6**).



**Figura 6.** Medias de la frecuencia cardíaca (BPM) de machos y hembras bajo tratamiento Control en un régimen de cambios de temperatura ( $T_e$ ). El punto representa la media y los intervalos de confianza del 95% determinados por Tukey HSD.

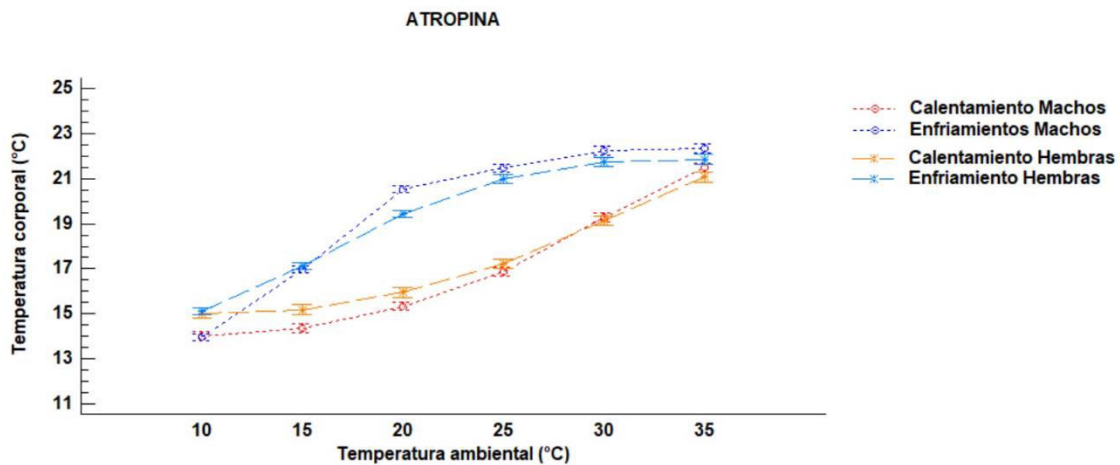


**Figura 7.** Medias de la frecuencia cardíaca (BPM) de machos y hembras de los tres tratamientos bajo un régimen de cambios de temperatura ambiental ( $T_e$ ). El punto representa la media y los intervalos de confianza del 95% determinados por Tukey HSD.

### Efecto en la temperatura corporal

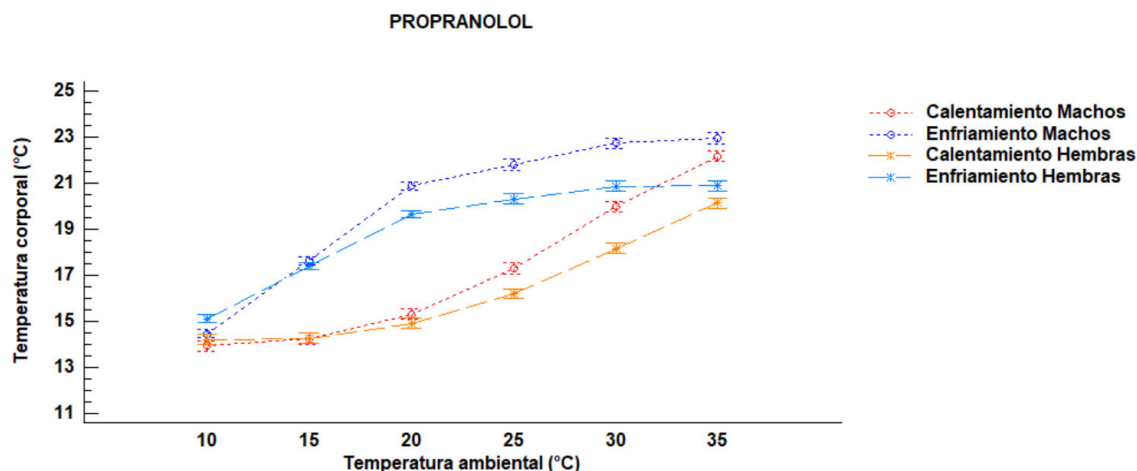
En todos los tratamientos se observó un aumento y disminución de la temperatura corporal ( $T_b$ ) ante cambios en la temperatura ambiental ( $T_e$ ) (**Figura 8, 9 y 10**). Se observó que no hay diferencias significativas de la temperatura corporal ( $T_b$ ) en todos los tratamientos ( $F_{2, 31499} = 0.28, P > 0.05$ ) (**Figura 11**).

En el tratamiento Atropina se observó que no hay diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre machos y hembras ( $F_{1, 10499} = 0.08, P > 0.05$ ). En machos se observó una diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre el calentamiento y enfriamiento ( $F_{1, 5249} = 375.59, P < 0.05$ ) y diferencia significativa entre los intervalos de temperatura ambiental ( $T_e$ ) de 10 a 35°C ( $F_{5, 5249} = 2629.22, P < 0.05$ ). En hembras se observó una diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre el calentamiento y enfriamiento ( $F_{1, 5249} = 248.17, P < 0.05$ ) y diferencia significativa entre los intervalos de temperatura ambiental ( $T_e$ ) de 10 a 35°C ( $F_{5, 5248} = 1173.55, P < 0.05$ ) (**Figura 8**).



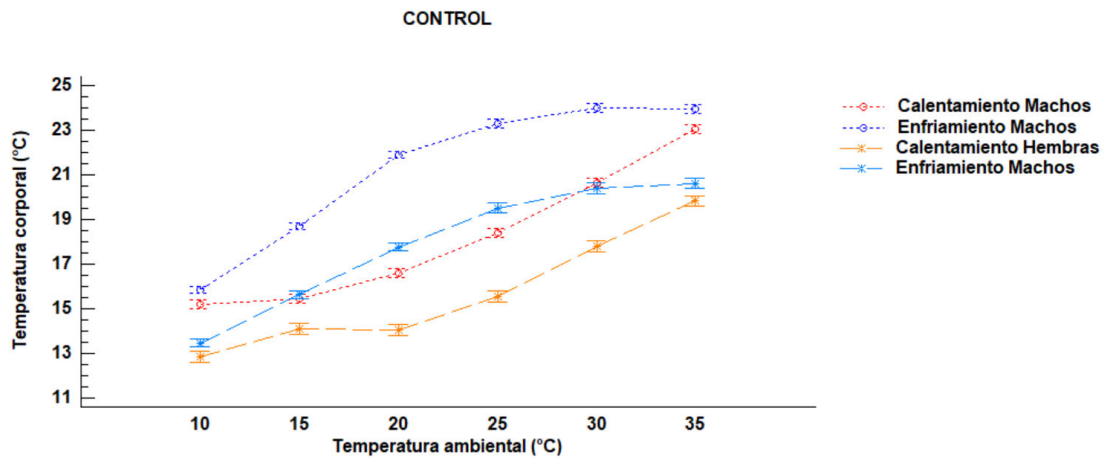
**Figura 8.** Medias de la temperatura corporal ( $T_b$ ) del tratamiento Atropina bajo un régimen de cambios de temperatura ( $T_e$ ). El punto representa la media y los intervalos de confianza del 95% determinados por Tukey HSD.

En el tratamiento propranolol se observó que hay diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre machos y hembras ( $F_{1, 10499} = 141.05, P < 0.05$ ). En machos se observó una diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre el calentamiento y enfriamiento ( $F_{1, 5249} = 416.04, P < 0.05$ ) y diferencia significativa entre los intervalos de temperatura ambiental ( $T_e$ ) de 10 a 35°C ( $F_{5, 5249} = 2097.00, P < 0.05$ ). En hembras se observó una diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre el calentamiento y enfriamiento ( $F_{1, 5249} = 639.97, P < 0.05$ ) y diferencia significativa entre los intervalos de temperatura ambiental ( $T_e$ ) de 10 a 35°C ( $F_{5, 5249} = 871.72, P < 0.05$ ) (**Figura 9**).

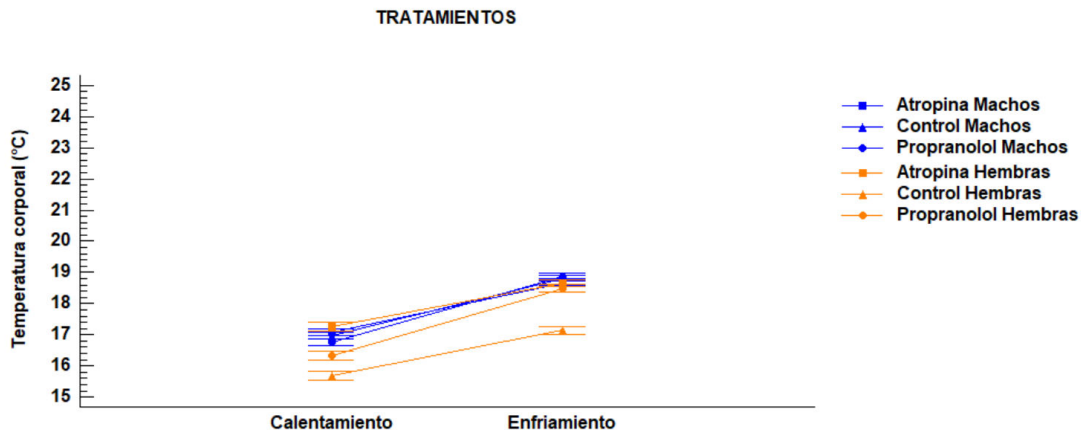


**Figura 9.** Medias de la temperatura corporal ( $T_b$ ) del tratamiento Propranolol bajo un régimen de cambios de temperatura ( $T_e$ ). El punto representa la media y los intervalos de confianza del 95% determinados por Tukey HSD.

En el tratamiento control se observó que hay diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre machos y hembras ( $F_{1, 10499} = 2053.60, P < 0.05$ ). En machos se observó una diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre el calentamiento y enfriamiento ( $F_{1, 5249} = 545.29, P < 0.05$ ) y diferencia significativa entre los intervalos de temperatura ambiental ( $T_e$ ) de 10 a 35°C ( $F_{5, 5249} = 2967.46, P < 0.05$ ). En hembras se observó una diferencia significativa de la temperatura corporal ( $T_b$ ) entre el calentamiento y enfriamiento ( $F_{1, 5249} = 255.50, P < 0.05$ ) y diferencia significativa entre los intervalos de temperatura ambiental ( $T_e$ ) de 10 a 35°C ( $F_{5, 5249} = 1447.93, P < 0.05$ ) (**Figura 10**).



**Figura 10.** Medias de la temperatura corporal ( $T_b$ ) del tratamiento Control bajo un régimen de cambios de temperatura ( $T_e$ ). El punto representa la media y los intervalos de confianza del 95% determinados por Tukey HSD.



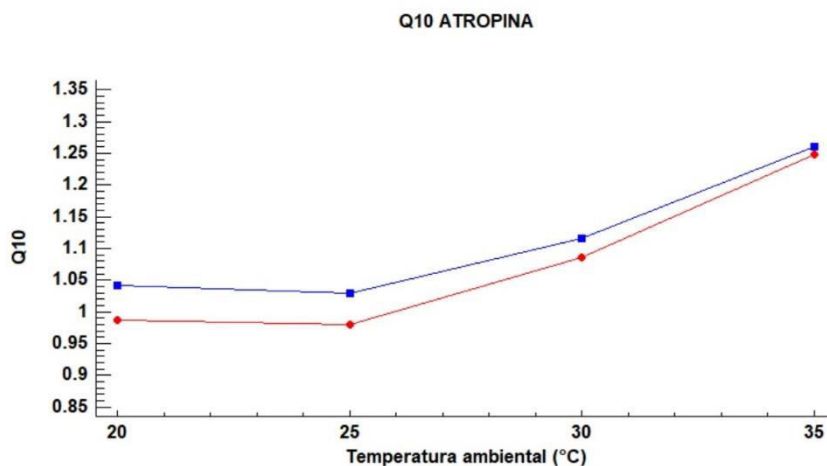
**Figura 11.** Medias de la temperatura corporal ( $T_b$ ) de los tres tratamientos bajo un régimen de cambios de temperatura ambiental ( $T_e$ ). El punto representa la media y los intervalos de confianza del 95% determinados por Tukey HSD.

## Q<sub>10</sub> (Coeficiente de temperatura)

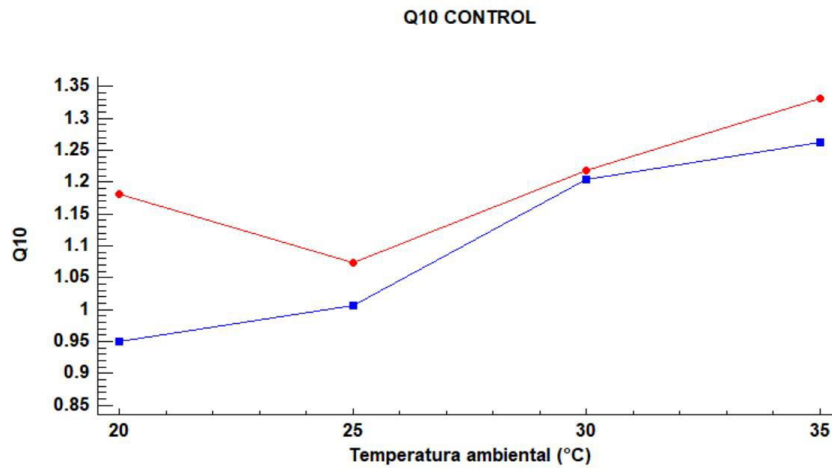
Se determinó el Q<sub>10</sub> coeficiente de temperatura de machos y hembras para los tres tratamientos, Atropina, Propranolol y control (**Cuadro 2**). Se observó que la tasa de cambio es más alta en machos para el tratamiento Atropina (**Figura 12**) mientras que en el tratamiento Control y Propranolol es más alta en hembras (**Figura 13 y 14**).

**Cuadro 2:** Valor de Coeficiente de temperatura (Q<sub>10</sub>) para frecuencia cardíaca de *B. imbricata* durante el calentamiento y enfriamiento en los tratamientos Atropina, Propranolol y Control.

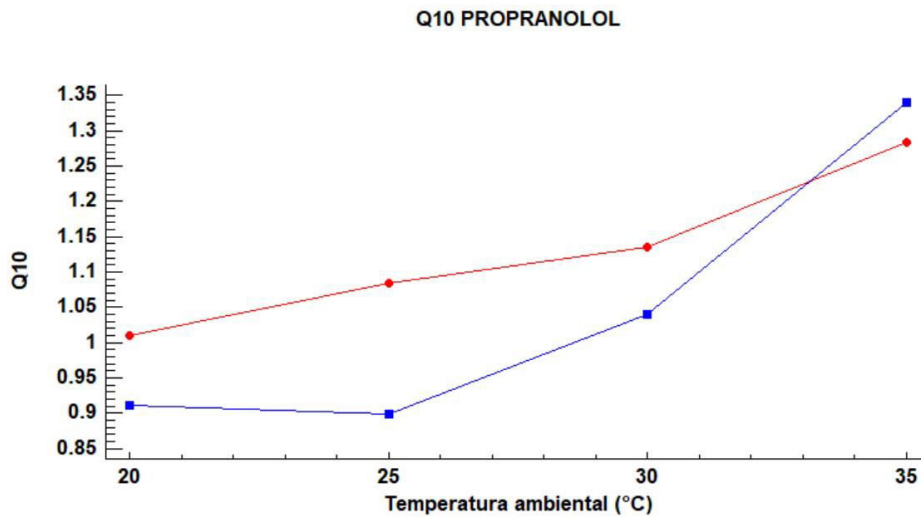
Temperatura (°C)	Atropina		Control		Propranolol	
	Q <sub>10</sub> Machos	Q <sub>10</sub> Hembras	Q <sub>10</sub> Machos	Q <sub>10</sub> Hembras	Q <sub>10</sub> Machos	Q <sub>10</sub> Hembras
10-20	1.041	0.987	0.950	1.182	0.912	1.010
15-25	1.030	0.980	1.007	1.073	0.898	1.084
20-30	1.115	1.085	1.204	1.219	1.040	1.135
25-35	1.261	1.248	1.262	1.332	1.340	1.284



**Figura 12.** Q<sub>10</sub> del tratamiento Atropina bajo un régimen de cambios de temperatura. El punto y línea azules representan el Q<sub>10</sub> de machos; el cuadro y línea roja representan el Q<sub>10</sub> de hembras.



**Figura 13.**  $Q_{10}$  del tratamiento control bajo un régimen de cambios de temperatura. El punto y línea azules representan el  $Q_{10}$  de machos; el cuadro y línea roja representan el  $Q_{10}$  de hembras.



**Figura 14.**  $Q_{10}$  del tratamiento Propranolol bajo un régimen de cambios de temperatura. El punto y línea azules representan el  $Q_{10}$  de machos; el cuadro y línea roja representan el  $Q_{10}$  de hembras.

## DISCUSIÓN

En *B. imbricata* la frecuencia cardíaca (BPM) muestra cambios asociados a la temperatura ambiental ( $T_e$ ) en todos los tratamientos. Se observa histéresis de la frecuencia cardíaca similar a lo registrado para reptiles de talla grande, como *Varanus exanthematicus* y *Pogona barbata*, en donde la frecuencia cardíaca es significativamente más alta durante el calentamiento que durante el enfriamiento, esto durante la termorregulación activa y bajo la influencia de otros factores como la digestión (Seebacher & Franklin, 2001; Franklin & Seebacher, 2003; Zaar et al., 2004; Clark et al., 2005; Duran et al., 2020).

En este caso *B. imbricata* muestra una frecuencia cardíaca (BPM) significativamente más alta durante la disminución de temperatura (Enfriamiento) que durante el aumento de temperatura (Calentamiento). Esto podría estar relacionado con los shunts cardiacos, que son desviaciones funcionales del flujo sanguíneo, que influyen en la tasa de cambio de la temperatura en reptiles. Cuando la resistencia en la circulación sistémica disminuye durante el calentamiento, se desarrolla un shunt cardíaco de derecha a izquierda (D-I o R-L) y cuando la resistencia en la circulación sistémica es mayor durante el enfriamiento, se desarrolla un shunt cardíaco de izquierda a derecha (I-D o L-R). Esto le permite al organismo mejorar la oxigenación sanguínea (Galli et al., 2004; Burggren et al., 2020). Como *B. imbricata* se distribuye en alta montaña, con temperaturas ambientales cambiantes e hipoxia altitudinal, este mecanismo de histéresis de la frecuencia cardíaca inverso podría estar relacionado con un shunt cardíaco de izquierda a derecha (I-D o L-R). Este shunt podría influir directamente en la tasa metabólica para mantener una mayor concentración de oxígeno en sangre durante una mayor cantidad de tiempo y no como principal mecanismo optimizador de la regulación de temperatura corporal.

El fenómeno de histéresis de la frecuencia cardíaca sigue presente después del bloqueo colinérgico y  $\beta$ -adrenérgico. Sin embargo, existen diferencias significativas entre los tres tratamientos (Fig. 6), se observa un bloqueo colinérgico en el tratamiento Atropina, en donde la histéresis de la frecuencia cardíaca es significativamente más alta que en los tratamientos Control y Propranolol, esto se encuentra estrechamente relacionado con el efecto de la atropina en los receptores muscarínicos provocando un aumento de la frecuencia cardíaca en ambos casos, calentamiento y enfriamiento. Por lo tanto, se podría determinar un bloqueo de la respuesta parasimpática. En cuanto al tratamiento con Propranolol, se observa que la histéresis de la frecuencia cardíaca es significativamente más baja que en el tratamiento Atropina y que el tratamiento Control, esto indica un bloqueo en los receptores  $\beta$ -adrenérgicos provocando una disminución de la frecuencia cardíaca en enfriamiento y calentamiento; por lo tanto, se podría determinar que existe un efecto en la respuesta simpática (Seebacher F. & Franklin C. E., 2001; Taylor et al., 2014; Sartori et al., 2015). En el tratamiento control se observa una diferencia significativa de la histéresis de la frecuencia cardíaca entre el tratamiento Atropina y tratamiento Propranolol, siendo el tratamiento

control más bajo que el tratamiento Atropina, pero más alto que el tratamiento Propranolol. Los datos de histéresis de la frecuencia cardíaca para tratamiento control son similares a los registrados previamente para la especie (Arzate-Garay, 2022)

La temperatura corporal ( $T_b$ ) muestra un aumento y disminución ante cambios de temperatura ambiental ( $T_a$ ), se muestra que hay diferencias significativas entre los tres tratamientos, esto podría relacionarse directamente con la variación de histéresis de la frecuencia cardíaca observada en los tres tratamientos. Se ha observado en reptiles de talla grande que mientras realizan diferentes actividades biológicas, como dormir, comer, actividades de reproducción, estado de alerta, la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal incrementan simultáneamente (Clark et al., 2005; Piercy et al., 2015).

La frecuencia cardíaca (BPM) y temperatura corporal ( $T_b$ ) son significativamente más altas en machos que en hembras en el tratamiento control y Propranolol. La lagartija *B. imbricata* presenta dimorfismo sexual en masa, longitud de la cabeza, y tamaño corporal total, siendo los machos más grandes que hembras (Dashevsky et al., 2013). Esto podría explicar que los machos tienen una tasa metabólica más alta que hembras, por lo tanto, una mayor temperatura corporal, como lo previamente registrado para otros reptiles (Garland & Else, 1987; Woolrich-Piña et al., 2006).

El coeficiente de temperatura  $Q_{10}$  mostró variación entre los tratamientos, se observó una tasa de cambio en incremento, relacionada con la temperatura ambiental. Se observó que las hembras de los tratamientos Control y Propranolol muestran una tasa de cambio más alto que en machos y en el tratamiento Atropina la tasa de cambio es más alta en machos. Las tasas de cambio en ambos sexos se encuentran en un intervalo de 0.8-1.3, más baja que la registrada para otros reptiles con intervalos de 1.5 -3.1 (Franklin & Seebacher, 2003a, 2003b; Garland & Else, 1987; Seebacher et al., 2003; Seebacher & Franklin, 2005). El tamaño corporal, la variación geográfica y la relación filogenética afectan las tasas metabólicas. En general, las tasas metabólicas aumentan con el tamaño corporal en las especies de reptiles lo que podría explicar el  $Q_{10}$  bajo en *B. imbricata* en comparación con reptiles de gran tamaño (Dubiner et al., 2023; Nagy, 2005; White et al., 2006).

## CONCLUSIONES

Se determinó que la regulación fisiológica de histéresis de la frecuencia cardíaca se modificó incrementando la frecuencia cardíaca en enfriamiento y calentamiento bajo un tratamiento Atropina antagonista colinérgico, regulando directamente la respuesta parasimpática. En el tratamiento Propranolol  $\beta$  bloqueador se observó que disminuyó la frecuencia cardíaca en el patrón de histéresis de la frecuencia cardíaca, esto en comparación con el tratamiento Atropina y Control, lo que indica una regulación directa de la respuesta parasimpática.

Se determinó que la histéresis de la frecuencia cardíaca está presente en machos y hembras, sin embargo, la frecuencia cardíaca es más alta en machos que en hembras independientemente de los tratamientos suministrados.

Se determinó que la temperatura corporal es mayor en machos que hembras, pero en ambos sexos se presenta un amortiguamiento térmico a la temperatura ambiental.

Se concluye que el Sistema Nervioso Autónomo (SNA) es el principal regulador fisiológico de la histéresis de la frecuencia cardíaca en *Barisia imbricata*, sin embargo, no se descarta que existan otros mecanismos fisiológicos que participan en la regulación de actividad cardíaca.

## REFERENCIAS

- Aguilar-Miguel, X., Casas-Andreu, G., Lizárraga-Valencia, A., Bustos Zagal, M. G., & Castro Franco, R. (2021). *Anfibios y Reptiles del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México* (1st ed., Vol. 1).
- Arzate-Garay, L. S. (2022). *Actividad cardiaca durante la termorregulación del Alicante de Montaña, Barisia imbricata (Squamata: Anguidae)*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.
- Arzate-Garay, L. S., Flores-Santin, J. F., Oviedo-Hernández, E., Andrade-Soto, G., Hernández-Lopez, G. P., & Watson, C. M. (2023). *BARISIA IMBRICATA* (Transvolcanic Alligator Lizard). ABERRANT COLORATION. *Herpetological Review*, 54(2), 292.
- Arzate-Garay, L. S., Flores-Santin, J. R., Hernández-Lopez, G. P., & Watson, C. M. (2022). *BARISIA IMBRICATA* (Transvolcanic Alligator Lizard). ARBOREAL HABITAT USE. *Herpetological Review*, 53(2), 320.
- Arzate-Garay, L. S., Reyes-Velázquez, E. A., Flores-Santin, J. R., & Hernández-Gallegos, O. (2024). Use of Artificial Habitat by the Imbricate Alligator Lizard, *Barisia imbricata* (Squamata: Anguidae), in Toluca, State of Mexico, Mexico. *Journal Reptiles & Amphibians*, 31(1).
- Burggren, W., Filogonio, R., & Wang, T. (2020). Cardiovascular shunting in vertebrates: a practical integration of competing hypotheses. *Biological Reviews*, 95(2), 449–471. <https://doi.org/10.1111/brv.12572>
- Clark, T. D., Butler, P. J., & Frappell, P. B. (2005). Digestive state influences the heart rate hysteresis and rates of heat exchange in the varanid lizard *Varanus rosenbergi*. *Journal of Experimental Biology*, 208(12), 2269–2276. <https://doi.org/10.1242/jeb.01657>
- Cowles, R. B., & Bogert, C. M. (1994). Preliminary Study of the thermal requirements of desert lizard. *American Museum of Natural History*, 83(5).
- Dashevsky, D., Meik, J. M., Mociño-Deloya, E., Setser, K., & Schaack, S. (2013). Patterns of sexual dimorphism in Mexican alligator lizards, *Barisia imbricata*. *Ecology and Evolution*, 3(2), 255–261. <https://doi.org/10.1002/ece3.455>
- Dubiner, S., Jamison, S., Meiri, S., & Levin, E. (2023). Squamate metabolic rates decrease in winter beyond the effect of temperature. *Journal of Animal Ecology*, 92(11), 2163–2174. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13997>
- Duran, L. M., Taylor, E. W., Sanches, P. V. W., Cruz, A. L., Tavares, D., Sartori, M. R., Abe, A. S., & Leite, C. A. C. (2020). Heart rate variability in the tegu lizard, *Salvator merianae*, its neuroanatomical basis and role in the assessment of recovery from experimental manipulation. *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A* :



*Molecular and Integrative Physiology*, 240.  
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.110607>

- Fierro-Estrada, N., González González, Y. G., Miles, D. B., Gómez, M. M., García, A., Salgado-Ugarte, I. H., & De La Cruz, F. R. M. (2019). Thermoregulation of the lizard *Barisia imbricata* at altitudinal extremes. *Amphibia Reptilia*, 40(3), 349–360. <https://doi.org/10.1163/15685381-20191155>
- Franklin, C. E., & Seebacher, F. (2003). The effect of heat transfer mode on heart rate responses and hysteresis during heating and cooling in the estuarine crocodile *Crocodylus porosus*. *Journal of Experimental Biology*, 206(7), 1143–1151. <https://doi.org/10.1242/jeb.00222>
- Galli, G., Taylor, E. W., & Wang, T. (2004). The cardiovascular responses of the freshwater turtle *Trachemys scripta* to warming and cooling. *Journal of Experimental Biology*, 207(9), 1471–1478. <https://doi.org/10.1242/jeb.00912>
- Garland, T., & Else, P. L. (1987). Seasonal, sexual, and individual variation in endurance and activity metabolism in lizards. *The American Physiology Society*. [www.physiology.org/journal/ajpregu](http://www.physiology.org/journal/ajpregu)
- Hicks, J. W., & Wang, T. (2012). The functional significance of the reptilian heart: New insights into an old question. In *Ontogeny and Phylogeny of the Vertebrate Heart* (Vol. 9781461433873, pp. 207–227). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3387-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3387-3_9)
- Hsu, W. H. (2008). *Handbook of Veterinary Pharmacology*.
- Liu, C., Li, R., Liu, Z., Yin, S., & Wang, Z. (2006). The role of prostaglandins and the hypothalamus in thermoregulation in the lizard, *Phrynocephalus przewalskii* (Agamidae). *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 176(4), 321–328. <https://doi.org/10.1007/s00360-005-0054-7>
- Martínez-Torres, M., Rubio-Morales, B., Piña-Amado, J. J., & Luis, J. (2015). Hemipenes in females of the mexican viviparous lizard *Barisia imbricata* (Squamata: Anguinae): An example of heterochrony in sexual development. *Evolution and Development*, 17(5), 270–277. <https://doi.org/10.1111/ede.12134>
- Nagy, K. A. (2005). Field metabolic rate and body size. In *Journal of Experimental Biology* (Vol. 208, Issue 9, pp. 1621–1625). <https://doi.org/10.1242/jeb.01553>
- Nelson, D., Crossley, D. A., Elsey, R. M., & Tate, K. B. (2018). Cardiovascular adjustments with egg temperature at 90% incubation in embryonic American alligators, *Alligator mississippiensis*. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 188(3), 471–480. <https://doi.org/10.1007/s00360-018-1144-7>

- Nilsson, S. (2011). Comparative anatomy of the autonomic nervous system. In *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* (Vol. 165, Issue 1, pp. 3–9).  
<https://doi.org/10.1016/j.autneu.2010.03.018>
- 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 merianae*) at various levels of activity. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 185(8), 891–903.  
<https://doi.org/10.1007/s00360-015-0927-3>
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, Uriel, García-Vázquez, U. O., Leyte-Manrique, A., & Canseco-Márquez, L. (2009). *Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y Conservación* (Vol. 1). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO.
- Sartori, M. R., Leite, C. A. C., Abe, A. S., Crossley, D. A., & Taylor, E. W. (2015). The progressive onset of cholinergic and adrenergic control of heart rate during development in the green iguana, *Iguana iguana*. *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A : Molecular and Integrative Physiology*, 188, 1–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2015.06.003>
- 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. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1999.1067>
- Seebacher F., & Franklin C. E. (2001). Control of heart rate during thermoregulation in the heliothermic lizard *Pogona barbata*: importance of cholinergic and adrenergic mechanisms. *The Journal of Experimental Biology*, 204, 4361–4366.
- Seebacher, F., & Franklin, C. E. (2003). Prostaglandins are important in thermoregulation of a reptile (*Pogona vitticeps*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2003.0007>
- Seebacher, F., & Franklin, C. E. (2004). Integration of autonomic and local mechanisms in regulating cardiovascular responses to heating and cooling in a reptile (*Crocodylus porosus*). *Integrative Physiology*, 174, 577–585.  
<https://doi.org/10.1016/j.ics.2004.08.050>
- Seebacher, F., & Franklin, C. E. (2005). Physiological mechanisms of thermoregulation in reptiles: A review. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 175(8), 533–541. <https://doi.org/10.1007/s00360-005-0007-1>
- Seebacher, F., Guderley, H., Elsey, R. M., & Trosclair, P. L. (2003). Seasonal acclimatization of muscle metabolic enzymes in a reptile (*Alligator mississippiensis*). *Journal of Experimental Biology*, 206(7), 1193–1200. <https://doi.org/10.1242/jeb.00223>

- Tan, X., Guo, S., & Wang, C. (2021). Propranolol in the treatment of infantile hemangiomas. In *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology* (Vol. 14, pp. 1155–1163). Dove Medical Press Ltd. <https://doi.org/10.2147/CCID.S332625>
- Taylor, E. W., Leite, C. A. C., Sartori, M. R., Wang, T., Abe, A. S., & Crossley, D. A. (2014). The phylogeny and ontogeny of autonomic control of the heart and cardiorespiratory interactions in vertebrates. In *Journal of Experimental Biology* (Vol. 217, Issue 5, pp. 690–703). <https://doi.org/10.1242/jeb.086199>
- Taylor, E. W., Leite, C. A. C., & Skovgaard, N. (2010). Autonomic control of cardiorespiratory interactions in fish, amphibians and reptiles. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 43(7), 600–610. <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2010007500044>
- Vitt, L. J., & Caldwell, J. P. (2014). *Herpetology An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles Fourth Edition* (Vol. 4). [www.elsevierdirect.com/rights](http://www.elsevierdirect.com/rights)
- White, C. R., Phillips, N. F., & Seymour, R. S. (2006). The scaling and temperature dependence of vertebrate metabolism. *Biology Letters*, 2(1), 125–127. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0378>
- Woolrich-piña, G. A., Lemos-espinal, J. A., Oliver-lópez, L., Calderón Méndez, M. E., González-Espinoza, J. E., Correa-Sánchez, F., & Montoya Ayala, R. (2006). ECOLOGÍA TÉRMICA DE UNA POBLACIÓN DE LA LAGARTIJA *Sceloporus grammicus* (IGUANIDAE: PHRYNOSOMATINAE) QUE OCURRE EN LA ZONA CENTRO-ORIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO. In *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* (Vol. 22, Issue 2).
- Wyneken, J. (2007). Reptilian Neurology: Anatomy and Function. In *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice* (Vol. 10, Issue 3, pp. 837–853). <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2007.05.004>
- Young, H. M., Cane, K. N., & Anderson, C. R. (2011). Development of the autonomic nervous system: A comparative view. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 165(1), 10–27. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2010.03.002>
- Zaar, M., Larsen, E., & Wang, T. (2004). Hysteresis of heart rate and heat exchange of fasting and postprandial savannah monitor lizards (*Varanus exanthematicus*). *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, 137(4), 675–682. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2004.01.028>

## ANEXOS



# MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



2023  
AÑO DE  
Francisco  
VILLA  
EL PROTAGONISMO DEL PUEBLO

Subsecretaría de Política Ambiental y Recursos Naturales  
Dirección General de Vida Silvestre  
Oficio N° SPARN/DGVS/04076/23  
Ciudad de México, a 13 de Abril de 2023

## DRA. GISELA GRANADOS GONZÁLEZ

Investigadora de la Facultad de Ciencias  
Universidad Autónoma del Estado de México  
Privada de Altamirano No. 114  
Colonia Niños Héroes  
Toluca, Estado de México  
C.P. 50100 - México  
Tel. (722) 202 0308, biogabrielsv@gmail.com

PRESENTE

En atención a la solicitud de Licencia de colecta científica con propósitos de enseñanza en materia de vida silvestre "Por Proyecto", recibida en la Delegación del Estado de México el 08 de Febrero de 2023 y turnado a esta Dirección General el 17 de Marzo de 2023, a la cual se le asignó la bitácora 15/K5-0190/02/23 y considerando que ha dado cumplimiento a los requisitos establecidos para efectuar investigación y colecta científica de flora y fauna silvestres en territorio mexicano, y con fundamento en lo dispuesto en los Artículos 2 fracción I, 10, 26 octava línea y 32 Bis fracciones I, III y XXXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 79 fracciones I, II, III, VI, VIII, IX y X, 80 fracciones I y VII, 83, 86 y 87 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 1, 3, letra A, fracción I, inciso e), 4, 8 y 9 fracción XXV y 15 fracciones VI, del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de julio de 2022; Artículos 9º. Fracción XII, 97 y 98 de la Ley General de Vida Silvestre; 12, 123 Fracción IV y 126 del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre; y la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010 y la Modificación del Anexo Normativo III, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre de 2019, la Dirección General de Vida Silvestre **autoriza** la Licencia de Colecta Científica o con Propósitos de Enseñanza en materia de vida silvestre "POR PROYECTO", sobre especies o poblaciones en riesgo o sobre hábitat crítico, para desarrollar las siguientes actividades inherentes al proyecto denominado **"Aspectos morfológicos de *Barisia imbricata* (Squamata: Anguinae)"**, con el objetivo de caracterizar y analizar aspectos morfofisiológicos y genéticos de *Barisia imbricata* y su relación evolutiva con factores bióticos y abióticos; a través de establecer un genotipado de oligos específicos comparado con la morfología corporal de la especie para discernir entre hembra y macho, identificar y caracterizar la morfología de órganos reproductores (gónadas, hemipenes y hemiclitoris) y el sistema cromosómico; determinar si existe pseudohermafroditismo; estimar la edad a través de esqueletocronología y relacionarla con la existencia de pseudohermafroditismo; determinar si la histéresis de su frecuencia cardíaca durante la termorregulación





Subsecretaría de Política Ambiental y Recursos Naturales  
Dirección General de Vida Silvestre  
Oficio N° SPARN/DCVS/04076/23  
Ciudad de México, a 13 de Abril de 2023

está regulada por mecanismo parasimpáticos bajo un tratamiento antogonista colenérgico y un tratamiento beta bloqueador.

- Captura definitiva de hasta treinta (30) ejemplares de la especie *Barisia imbricata* (lagarto alicante de las montañas) para caracterizar y analizar aspectos morfosiológicos y genéticos y su relación evolutiva con factores bióticos y abióticos; y se determinará si la histéresis de la frecuencia cardíaca de los organismos durante la termoregulación está regulada por mecanismos parasimpáticos ó simpáticos bajo un tratamiento antagonista colenérgico.
- Captura definitiva de hasta diez (10) hembras y hasta diez (10) machos de la especie *Barisia imbricata* (lagarto alicante de las montañas) para realizar estudios de esqueletocronología (falange y fémur); determinar el sistema cromosómico a través de un genotipado; identificar y caracterizar la morfología de órganos reproductores (gónadas, hemipenes y hemiclitoris)

Las actividades de colecta se llevarán a cabo **en la Unidad Académica "El Cerrillo", Piedras Blancas de la Universidad Autónoma del Estado de México (cuenta con un humedal "Bordo Las Maravillas"), Toluca, Estado de México. Fuera de Áreas Naturales Protegidas.**

**Esta autorización tendrá una vigencia de un (01) año a partir de la expedición de la presente.**

Las actividades se realizarán con el Aval de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México, con la colaboración de los Dres. Gabriel Suárez Varón y Josele Ricardo Flores Santín ambos profesores de Unidades de aprendizaje de la Universidad Autónoma del Estado de México; y el Dr. Oswaldo Hernández Gallegos **y la titular y los colaboradores deberán sujetarse obligatoriamente a las siguientes condicionantes:**

**1.- Deberá cumplir con las disposiciones Administrativas, Fiscales y de Sanidad exigibles por las autoridades competentes en la Materia, sean Federales, Estatales o Municipales, así como con las disposiciones establecidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas y demás disposiciones legales aplicables.**

**2.- En la realización del proyecto propuesto, se responsabilizará al titular de la investigación de cualquier impacto significativo que resulte sobre las poblaciones de la flora o fauna silvestre y sus hábitats, por lo que**





# MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



2023  
AÑO DE  
Francisco  
VILLA  
EL REVOLUCIONARIO DEL NOROCCIDENTE

Subsecretaría de Política Ambiental y Recursos Naturales  
Dirección General de Vida Silvestre  
Oficio N° SPARN/DGVS/04076/23  
Ciudad de México, a 13 de Abril de 2023

deberá considerar el riesgo de perturbación del ecosistema, antes de su ejecución y no llevarlo a cabo si existe algún riesgo.

3.- Previo al inicio de las actividades de campo, deberá enviar obligatoriamente por escrito y utilizando cualquier medio su programa de trabajo a la Delegación Federal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el **Estado de México** (722) 276 7835, enviando copia del mismo a la Dirección General de Vida Silvestre. De igual manera, al término de dichas actividades lo notificará a esas Delegaciones Federales, enviándole un reporte detallado por escrito.

4.- La totalidad del material colectado deberá destinarse exclusivamente a los fines específicos del proyecto, objeto de la presente autorización. Con base al Capítulo IV, Artículo 98 de la Ley General de Vida Silvestre, los ejemplares permanecerán en los laboratorios: "Morfofisiología de la Reproducción (LMR)" y "Ecofisiología Animal (LEA)" dentro de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México para los experimentos y los estudios se realizarán en la misma Facultad. La titular de la autorización, asume la responsabilidad de remitir a esta Dirección General, copia de la(s) constancia(s) del(os) depósito(s) debidamente firmado(s), especificando la cantidad del material depositado.

5.- Con base al Capítulo IV, Artículo 98 de la Ley General de Vida Silvestre y 126 del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre, el responsable del proyecto deberá someter a la consideración de la Dirección General de Vida Silvestre, en un plazo no mayor de 30 (TREINTA) días de concluida la vigencia de la presente, un informe que describa detalladamente las actividades realizadas, los resultados obtenidos, la problemática del área trabajada, las potenciales alternativas de solución y -en su oportunidad, la(s) publicación(es) y sobre tiros producto de la investigación.

6. - Queda estrictamente prohibido efectuar cualquier aprovechamiento de las especies de flora y fauna silvestres, cualquiera que sea su estatus, excepto lo aquí autorizado, así como realizar actividades en Áreas Naturales Protegidas de México, sean Estatales o Federales, sin previa autorización.





# MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



2023  
AÑO DE  
Francisco  
VILLA  
EL MOYALCANGUERO DEL NOROCCIDENTE

**Subsecretaría de Política Ambiental y Recursos Naturales**  
**Dirección General de Vida Silvestre**  
**Oficio N° SPARN/DGVS/04076/23**  
**Ciudad de México, a 13 de Abril de 2023**

7.- De acuerdo al Artículo 87 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente al Capítulo IV, Artículo 97 de la Ley General de Vida Silvestre, esta autorización no ampara Se recomienda que durante sus actividades de campo, en el caso de encontrar ejemplares de especies listadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, se notifique de ello (la especie, ubicación geográfica y la fecha) a esta Dirección General, en el informe de actividades antes mencionado.

La presente autorización es personal e intransferible y habrá de mostrarse a las Autoridades Federales, Estatales y Municipales cuantas veces lo soliciten. Así mismo y tomando en consideración lo establecido en el Artículo 87 de la Ley General de Vida Silvestre el titular de la presente deberá contar con el consentimiento previo, expreso informado de los legítimos propietarios de la(s) tierra(s) donde pretende desarrollar el proyecto.

**El incumplimiento de las condiciones aquí establecidas, dará origen a la instauración de un procedimiento administrativo ante la autoridad competente, para proceder a la cancelación de la autorización y a la aplicación de la legislación correspondiente, según sea el caso.**

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**LA DIRECTORA GENERAL**



**SEMARNAT**

**BIÓL. MARÍA DE LOS ÁNGELES CAUCH GARCÍA**

C.c.e.p. SSubsecretaría de Política Ambiental y Recursos Naturales: subsecretaria.sparn@semarnat.gob.mx  
Román Hernández Martínez.- Unidad Coordinadora de Delegaciones: roman.hernandez@semarnat.gob.mx  
José Ernesto Marín Mercado.- Encargado del Despacho de la Delegación Federal de la SEMARNAT en el Estado de México.- restauracion@em.semarnat.gob.mx  
Federico Ortiz Flores.- Encargado de Despacho de Delegación de la PROFEPA en el Estado de México.- federico.ortiz@profepa.gob.mx  
Subdirección de Gestión para el Aprovechamiento en Vida Libre

Archivo General 15/K5-0192/02/23  
ckathy/colecta cientifica/Proyecto\_Gisela Granados González\_Lagartija\_23

OERC/RHL/MCRA



whatever means and subsequent regeneration is of relatively low occurrence in both *A. exanguis* and *A. uniparens* from these two sites in Chihuahua, Mexico.

The data raise the question of whether tail breakage and regeneration in *Cnemidophorus* and *Aspidoscelis* is merely a function of tail length and internal structure rather than natural selection driven by predator survival per se. In addition to tail loss in *A. laredoensis* posterior to caudal scale whorl 17 by a rarely observed predator attack (Cordes et al. 2022. *Herpetol. Rev.* 53:319). We have more frequently observed these instances of whiptail lizard tail loss during copulation in gonochoristic species, such as *A. gularis gularis* and *A. marmoratus reticuloriens*, by retreat into a burrow system from human presence in *A. laredoensis* and *A. gularis septemvittatus*, from restraint of the tail within thick vegetation in *A. velox*, and within cactus in *A. dixonii*.

Specimens of *A. exanguis* and *A. uniparens* referenced herein were collected in Chihuahua by JAL-E and imported to the United States for study under authority of permits provided by the government of Mexico. We remind that Hobart M. Smith (deceased) facilitated the loan of these specimens to JMW.

**JAMES M. WALKER**, Department of Biological Sciences, University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas 72701, USA (e-mail: jmwalker@uark.edu); **JULIO A. LEMOS-ESPINAL**, Laboratorio de Ecología-UBIPRO, FES Iztacala UNAM, Av. Los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, México – 54090 (e-mail: lemos@unam.mx); **JAMES E. CORDES**, Division of Arts and Sciences, Louisiana State University Eunice, Eunice, Louisiana 70535, USA (e-mail: jcordes@lsue.edu).

**BARISIA IMBRICATA (Transvolcanic Alligator Lizard). ABERRANT COLORATION.** Dorsal coloration in *Barisia imbricata* is not sex-specific and is variable with multiple phenotypes have been reported ranging from olive green, brown, cream, or black with tan or grey edges, and barred white flecking on scale edges; ventral coloration is less variable ranging from cream to grey, and also shows little differences between sexes (Guillete and Smith 1982. *Trans. Kansas Acad. Sci.* 85:13–33; Ramírez-Bautista 2009. *Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y Conservación.* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo. 70 pp.). Despite this variation, there are no reports of atypical colorations in this species. Here, we describe an erythristic *B. imbricata* from Mexico.

We found two juvenile *B. imbricata* exhibiting abnormal, partial-erythristic ventral coloration: the first found on 25 March 2022 (ca. 8.6 cm SVL; 19.41306°N, 99.70083°W; WGS 84; 2607 m elev.) and the second found on 1 April 2022 (ca. 8.5 cm SVL; 19.41305°N, 99.70077°W; WGS 84; 2607 m elev.). Both individuals were from the Neovolcanic Mountain Range, San Cayetano de Morelos, State of México, México. The first individual had orange-reddish coloration on the neck region, on lateral ventral surface scales with the mid-ventral scales having only a minor red hue; the ventral scales on the hind limbs and the proximal portion of the tail were completely orangish turning abruptly slate-gray distally (Fig. 1A); the second juvenile had similar coloration, but the orange-reddish color was more subdued (Fig. 1B).

To our knowledge this is the first report of partial ventral erythristism in *B. imbricata*. Erythristism, the excessive production and deposition of red and orange pigments, is among the most unusual abnormal coloration in reptiles (Bechtel 1995. *Reptile and Amphibian Variants: Colors, Patterns and Scales*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida; Watson and Vaughan 2004. *Herpetol. Rev.* 35:178; Maëát et al. 2015. *Russ. J. Herpetol.* 23:7376; Borteiro et al. 2021. *Salamandra* 57:124–138).

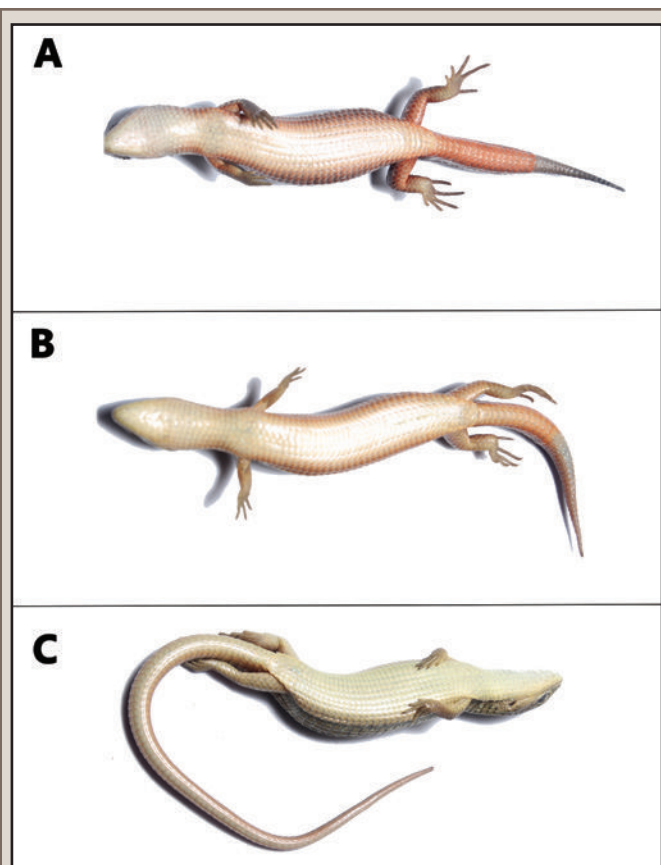


FIG. 1. A, B) Ventral views of two juvenile *Barisia imbricata* with partial erythristism; C) ventral view of a juvenile (7.3 cm SVL) *B. imbricata* with normal ventral coloration.

**LAURA S. ARZATE-GARAY** (e-mail: larzate.biocienciasc@gmail.com) and **JOSELE R. FLORES-SANTIN**, Laboratorio de Ecofisiología Animal, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Km 14.5 carretera Toluca – Ixtlahuaca, San Cayetano, Toluca, Estado de México 50200, México (e-mail: jflores538@profesor.uaemex.mx); **EDGAR OVIEDO-HERNÁNDEZ** (e-mail: eoviedo.biocienciasb@gmail.com) and **GABRIEL ANDRADE-SOTO**, Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Km 14.5 carretera Toluca – Ixtlahuaca, San Cayetano, Toluca, Estado de México 50200, México (e-mail: bioherpetologia.22@gmail.com); **G. PAMELA HERNANDEZ-LOPEZ**, Universidad Autónoma del Estado de México, Km 14.5 carretera Toluca – Ixtlahuaca, San Cayetano, Toluca, Estado de México 50200, México; **CHARLES M. WATSON**, Department of Life Sciences, Texas A&M University San Antonio, One University Way, San Antonio 78224, Texas, USA. (e-mail: charles.watson@tamusa.edu).

**BRADYPODION PUMILUM (Cape Dwarf Chameleon). BIOFLUORESCENCE.** Biofluorescence is a form of photoluminescence in which parts of an organism absorb short wavelengths of higher electromagnetic light energy (i.e., ultraviolet light) and re-emit longer wavelengths of lower electromagnetic light energy (i.e., visible light). This phenomenon has been documented in a number of reptiles, including several species of chameleons (e.g., Prötzel et al. 2018. *Sci. Rep.* 8:698), geckos (e.g., Sloggett 2018. *Curr. Zool.* 64:319–320; Prötzel et al. 2021. *Sci. Rep.* 11:297), snakes (e.g., Eto 2020. *Herpetol. Rev.* 51:622–623; Paul and Mendyk 2021. *Herpetol. Rev.* 52:221–237), and turtles (Gruber and Sparks 2015. *Amer. Mus. Nov.* 3845:1–7). However, the extent to



# Use of Artificial Habitat by the Imbricate Alligator Lizard, *Barisia imbricata* (Squamata: Anguidae), in Toluca, State of Mexico, Mexico

Laura Sonia Arzate-Garay<sup>1</sup>, Erika Adriana Reyes-Velázquez<sup>2</sup>, Josele Ricardo Flores-Santin<sup>1</sup>, and Oswaldo Hernández-Gallegos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecofisiología Animal, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario #100 Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México

<sup>2</sup>Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario #100 Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México

The family Anguidae has a wide distribution in Mexico (Maciel-Mata 2013). These terrestrial or arboreal lizards are characterized primarily by a lateral fold that separates the dorsum and venter, and generally have short limbs, although some genera are legless (Vitt and Caldwell 2014).

The anguid genus *Barisia* contains seven species of alligator lizards (Uetz et al. 2023). The Imbricate Alligator Lizard (*Barisia imbricata*) is distributed in the Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, and Trans-Mexican Volcanic Belt, with an isolated population in northern Oaxaca (Sunny et al. 2017). They inhabit mainly coniferous forests at elevations of

2,000–4,060 m asl; in natural habitat, *B. imbricata*, which is primarily diurnally active and terrestrial, can be found in tussock grass, in burrows, or on the ground (Ramírez-Bautista et al. 2009; Lemos-Espinal and Dixon 2016), although records document the use of arboreal habitats in Toluca (Arzate-Garay et al. 2022). This species is listed as “Special Protection” (Pr) under the NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010), as being of “Least Concern” (LC) on the IUCN Red List (Canseco-Márquez et al. 2007), and has a medium Environmental Vulnerability Score (EVS) (Lemos-Espinal and Smith 2020).

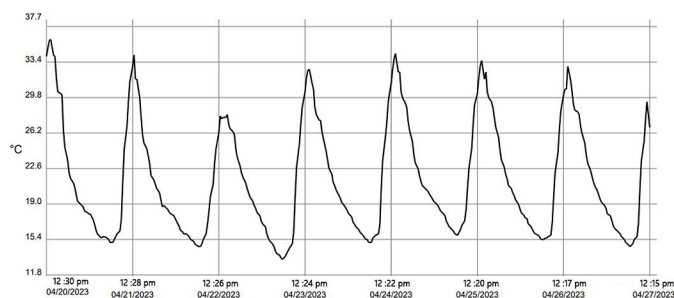


**Figure 1.** Plastic sheets used in agriculture in the sampling site. Photograph by Laura S. Arzate-Garay.



**Figure 2.** A male Imbricate Alligator Lizard (*Barisia imbricata*) found among the black plastic sheets. Photograph by Laura S. Arzate-Garay.

Habitat disturbance and land use changes, such as urbanization and agriculture, have caused many species to adapt to artificial environments (e.g., Krauss et al. 2010). For example, some colubrids have benefited from thermal shelters like plastic tarps, sheets, and drywall (Lelièvre et al. 2010), and some anurans have been documented using artificial hibernation sites, such as kitchenware (Shin et al. 2021). Herein we document the use of an artificial microhabitat by Imbricate Alligator Lizards in Toluca, State of Mexico (19.41250, -99.70162; elev. 2,607 m asl). During sampling sessions at the study site from February to April 2023, we found multiple *B. imbricata* beneath black plastic sheets used in agriculture (Figs. 1 & 2). We placed a TZ-TempU02 temperature sensor Digital Technology Tzone<sup>®</sup> under the plastic sheets, where temperatures were recorded for seven days on 20–27 April 2023. The maximum recorded temperature was 36.7 °C, the minimum was 13.5 °C, and the average was 21.6 °C (Fig. 3).



**Figure 3.** Temperature graph at the study site showing data from 20–27 April 2023.

These plastic sheets likely offer thermal benefits to *B. imbricata* due to the high temperatures recorded during the day. However, the temperatures recorded beneath the black plastic at the study site during the sampling period were higher than the preferred temperatures (25.0–30.9 °C) reported for the species by Fierro-Estrada et al. (2019). The plastic sheets also might serve as water refugia, as other species of amphibians and reptiles were found in the same microhabitat.

### Acknowledgements

We thank Sofía Quiroz, L. Fernando Hernández, and Diego Yañez for help with fieldwork, CONAHCYT for financial support through scholarship No. 832051, and to the staff of the Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, especially Dr. Aaran Aquilino Morales Pérez, for the facilities provided for the conduct of this study.

### Literature Cited

- Arzate-Garay, L., J.R. Flores-Santin, G.P. Hernandez-Lopez, and C.M. Watson. 2022. *Barisia imbricata* (Transvolcanic Alligator Lizard). Arboreal habitat use. *Herpetological Review* 53: 320.
- Canseco-Márquez, L., F. Mendoza-Quijano, P. Ponce-Campos, A. García Aguayo, J. Vázquez Díaz, G.E. Quintero Díaz, G. Santos-Barrera, and J.A. Campbell. 2007. *Barisia imbricata*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2007: e.T63693A12698815. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63693A12698815.en>.
- Fierro-Estrada, N., Y.G. González González, G., D.B. Miles, M.M. Gómez, A. García, I.H. Salgado-Ugarte, and F.R. Méndez de la Cruz. 2019. Thermoregulation of the lizard *Barisia imbricata* at altitudinal extremes. *Amphibia-Reptilia* 40: 349–360. <https://doi.org/10.1163/15685381-20191155>.
- Krauss, J., R. Bommarco, M. Guardiola, R.K. Heikkinen, A. Helm, M. Kuussaari, R. Lindborg, E. Öckinger, M. Pärtel, J. Pino, J. Pöyry, K.M. Raatikainen, A. Sang, C. Stefanescu, T. Teder, M. Zobel, and I. Steffan-Dewenter. 2010. Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels. *Ecological Letters* 13: 597–605. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01457.x>.
- Lelièvre H., G. Blouin-Demers, X. Bonnet, and O. Lourda. 2010. Thermal benefits of artificial shelters in snakes: a radiotelemetric study of two sympatric colubrids. *Journal of Thermal Biology* 35: 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.06.011>.
- Lemos-Espinal, J.A. and J.R. Dixon. 2016. *Anfibios y Reptiles de Hidalgo, México/ Amphibians and Reptiles of Hidalgo, Mexico*. CONABIO, México D.F., México.
- Lemos-Espinal, J.A. and G.R. Smith. 2020. A conservation checklist of the amphibians and reptiles of the State of Mexico, Mexico with comparisons with adjoining states. *ZooKeys* 953: 137. <https://doi.org/10.3897/zookeys.953.50881>.
- Maciel-Mata, C. 2013. Análisis de la diversidad taxonómica de la familia Anguillidae (Squamata: Sauria) en México, con base en modelos de distribución espacial. Unpublished Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México.
- Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, U.O. García-Vázquez, A. Leyte-Manrique, and L. Canseco-Márquez. 2009. *Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y Conservación*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, and CONABIO, México D.F., México.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial*, Jueves 30 de diciembre de 2010 (Segunda Sección). <[https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)>.
- Shin Y., D. Jeong, and B. Lim. 2021. *Kaloula borealis* (Boreal Digging Frog). Hibernaculum. *Herpetological Review* 52: 828–829.

- Sunny, A., A. González-Fernández, and M. D'Addario. 2017. Potential distribution of the endemic imbricate alligator lizard (*Barisia imbricata imbricata*) in highlands of central Mexico. *Amphibia-Reptilia* 38: 225–231. <https://doi.org/10.1163/15685381-00003092>.
- Uetz, P., P. Freed, R. Aguilar, F. Reyes, J. Kudera, and J. Hošek (eds.). 2023. *The Reptile Database*. <<http://www.reptile-database.org>>.
- Vitt, L.J. and J.P. Caldwell. 2014. *Herpetology. An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*, 4th Edition. Academic Press, San Diego, California, USA.

# PRIMER REGISTRO DE ERITRISMO EN *THAMNOPHIS SCALARIS* (SQUAMATA: COLUBRIDAE) EN EL ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

FIRST RECORD OF ERYTHRISM IN *THAMNOPHIS SCALARIS* (SQUAMATA: COLUBRIDAE) IN THE STATE OF MEXICO, MEXICO

Laura Sonia Arzate-Garay<sup>\*</sup>, Sofia Aimee Quiroz-Adrian<sup>1</sup>, Luis Fernando Hernández-Sánchez<sup>3</sup>, Edgar Oviedo-Hernández<sup>2</sup>, Oswaldo Hernández-Gallegos<sup>2</sup> & Josele Ricardo Flores-Santin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecofisiología Animal, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario #100 Centro, 50000 Toluca, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario #100 Centro, 50000 Toluca, Estado de México, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario #100 Centro, 50000 Toluca, Estado de México, México.

\*Correspondence: [larzatego46@alumno.uaemex.mx](mailto:larzatego46@alumno.uaemex.mx)

Received: 2023-09-28. Accepted: 2024-01-16. Published: 2024-02-21.

Editor: José Manuel Serrano, México.

**Abstract.**— The first documented record of abnormal coloration (erythrism) in the long-tailed snake (*Thamnophis scalaris*) is reported in San Cayetano Morelos, Toluca, State of Mexico in a disturbed habitat.

**Key words.**— Erythrism, *Thamnophis scalaris*, disturbed habitat.

**Resumen.**— Se da a conocer el primer registro documentado de coloración anormal (eritrismo) en la culebra de cola larga (*Thamnophis scalaris*) en San Cayetano Morelos, Toluca, Estado de México en un hábitat perturbado.

**Palabras clave.**— Eritrismo, *Thamnophis scalaris*, hábitat perturbado.

La coloración corporal tiene un papel importante en la ecología de los anfibios y reptiles (i.e. termorregulación, reproducción, alimentación, evasión de depredadores, etc.) y es posible gracias a células especializadas que contienen pigmentos en la piel llamadas cromatóforos (Vitt & Caldwell, 2014). Sin embargo, existen casos de coloraciones raras o anormales debido a una pigmentación excesiva o reducida (Kolenda et al., 2017; Allain et al., 2023). El eritrismo, coloración anormal en donde se presentan principalmente coloraciones rojizas y naranjas en diferentes tonalidades, es de las menos frecuentes entre los reptiles, y ha sido principalmente registrada en serpientes (Gilhen, 2010; Borteiro et al., 2021; Jablonski et al., 2022).

*Thamnophis scalaris* Cope (1861), es una serpiente de tamaño mediano, principalmente predominan los colores café oscuro u olivo, con una franja media vertebral de color amarillo o crema (Heimes, 2016) (Fig. 1). Se distribuye principalmente en el Altiplano Mexicano y al norte de la Faja Volcánica Transmexicana,

en elevaciones de 2,000 a 4,273 m.s.n.m., desde el este de Jalisco hasta el centro de Veracruz (Rossman et al., 1996; Ramírez-Bautista et al., 2009). Un estudio previo, documentó dos casos de eritrismo en *T. scalaris* en los estados de Puebla y Tlaxcala, en ambos casos los individuos presentaban coloraciones rojizas y naranjas, atípicas de la coloración registrada para la especie (Hidalgo-Licon et al., 2023).

El 16 de marzo de 2023 durante un muestreo herpetológico se encontró un individuo de la culebra de cola larga *Thamnophis scalaris* con coloraciones rojizas y naranjas (Fig. 2), en San Cayetano Morelos, Toluca, Estado de México (19.41306°N, 99.70083°W; WGS 84; 2607 m.s.n.m.) debajo de unos plásticos negros abandonados, usados para actividades agrícolas. La descripción de coloración se realizó con base en el Catálogo de Color para Biólogos de Campo "Colour Catalogue for Field Biologists" (Köhler, 2012).



**Figure 1.** Individual of *Thamnophis scalaris* with normal coloration. Photo: Edgar Oviedo-Hernández

**Figura 1.** Individuo de *Thamnophis scalaris* con coloración normal. Fotografía: Edgar Oviedo-Hernández.



**Figure 2.** Lateral view of the head of *Thamnophis scalaris* showing supralabial, infralabial scales and eye coloration with erythrisms. Photo: Edgar Oviedo-Hernández.

**Figura 2.** Vista lateral de la cabeza de *Thamnophis scalaris* donde se observan las escamas supralabiales, infralabiales y coloración de ojos con eritrismo. Foto: Edgar Oviedo-Hernández.



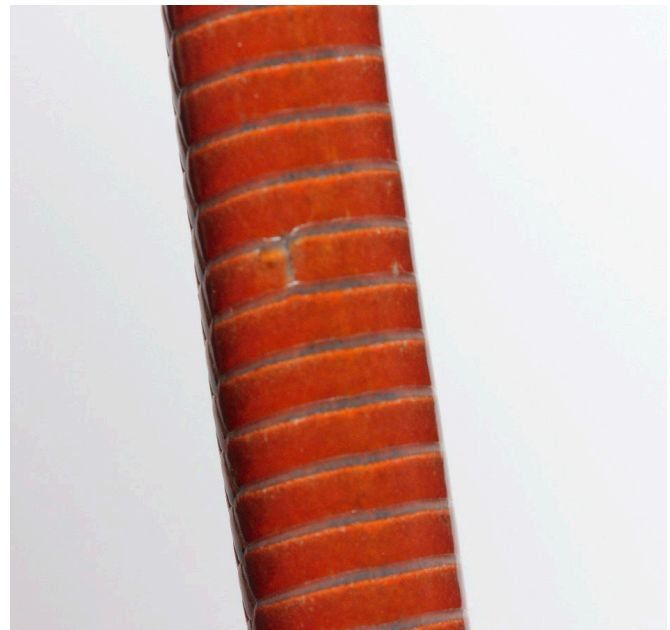
**Figure 3.** Vertebral midline and dorsal view of *Thamnophis scalaris* with erythrism. Photo: Edgar Oviedo-Hernández.

**Figura 3.** Línea vertebral media y vista dorsal de *Thamnophis scalaris* con eritrismo. Foto: Edgar Oviedo-Hernández.

El organismo tenía escamas supralabiales moteadas color flama escarlata (Flame Scarlet; 73), anaranjado cromo (Chrome Orange; 74) y pequeños puntos marrón (Maroon; 39). La región gular y las escamas infralabiales beige pálido (Pale Buff; 1) con puntos pequeños y motas color flama escarlata (Flame Scarlet; 73). Los ojos muestran coloración flama escarlata (Flame Scarlet; 73) en la córnea (Fig. 2). La franja media vertebral es anaranjado medio cromo (Medium Chrome Orange; 75) (Fig. 3). La región ventral es escarlata (Scarlet; 69) (Fig. 4). Las fotografías del organismo *T. scalaris* con eritrismo fueron depositadas en la Colección Fotográfica de Herpetología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México con clave CFH 35-37.

Este hallazgo es de suma importancia, ya que el organismo se encontró en un hábitat perturbado, en donde se realizan actividades de pastoreo, se encuentra cerca un canal de aguas negras y existe una alta contaminación del suelo por residuos sólidos. En el mismo sitio de estudio se registró un caso de eritrismo en la lagartija *Barisia imbricata* (Arzate-Garay et al., 2023). En el mismo municipio de estudio se reportó un caso de eritrismo en la culebra de cola corta (*Thamnophis scaliger*) en los alrededores del Parque Estatal Sierra Morelos, una zona perturbada (Rojas-Velasco et al., 2023). Desde nuestro conocimiento, este sería el primer caso documentado de esta

condición de coloración anormal (eritrismo) en la culebra de cola larga (*Thamnophis scalaris*).



**Figure 4.** Ventral view of *Thamnophis scalaris* with erythrism. Photo: Edgar Oviedo-Hernández.

**Figura 4.** Vista ventral de *Thamnophis scalaris* con eritrismo. Foto: Edgar Oviedo-Hernández.

La causa de eritrismo en otras especies de animales está ligada a la dieta (Hudon & Mulvihill, 2017). Pero en reptiles y anfibios es probable que sea causado por un componente genético y esto se ha demostrado en crías en cautiverio de diferentes especies de anfibios y reptiles. Algunas hipótesis sugieren que el eritrismo es causado por altas concentraciones de hierro en agua y suelo, de forma similar como sucede en algunas aves que adquieren pigmentos de depósitos de óxido de hierro (McGraw et al., 2005; Kolenda et al., 2017). Dado que los organismos que presentaron eritrismo fueron encontrados en zonas perturbadas por la actividad humana, se sugiere que estos factores podrían ser los principales causantes, por lo que es importante realizar estudios adicionales en un futuro sobre estos casos.

**Agradecimientos.-** Agradecemos a Diego A. Yáñez Velázquez por la ayuda en trabajo de campo, al Biól. Edgar Emmanuel Hernández Juárez por el acceso al libro Colour Catalogue for Field Biologists y CONAHCYT por el financiamiento a través de la beca No. 832051.

## LITERATURA CITADA

- Allain, S., D. Clemens & O. Thomas. 2023. Taste the rainbow: a review of color abnormalities affecting the herpetofauna of the British Isles. *Reptiles & Amphibians* 30:e18470-e18470.
- Arzate-Garay, L.S., J.R. Flores-Santin, E. Oviedo-Hernández, G. Andrade-Soto, G.P. Hernández-López & C.M. Watson. 2023. *Barisia imbricata*, Coloration. *Herpetological Review* 54:292.
- Borteiro, C., A. Diesel Abegg, F. Hirouki Oda, D.E. Cardozo, F. Kolenc, I. Etchandy et al. 2021. Aberrant colouration in wild snakes: case study in Neotropical taxa and a review of terminology. *Salamandra* 57:124-138.
- Gilhen, J. 2010. Erythrism in the Maritime Garter Snake, *Thamnophis sirtalis pallidulus*, in Nova Scotia. *The Canadian Field-Naturalist* 124:99-103.
- Heimes, P. 2016. Snakes of Mexico. *Herpetofauna Mexicana*. Vol I. Chimaira. Frankfurt.
- Hidalgo-Licon, L.F., A.Y. Cisneros-Bernal, G. Medina-Rangel & C.A. Hernández-Jiménez. 2023. Erythrism in the Long-tailed Alpine Garter Snake, *Thamnophis scalaris* (Squamata: Colubridae), from Puebla and Tlaxcala, México. *Herpetology Notes* 16:175-177.
- Hudon, J. & R. Mulvihill, 2017. Diet-induced plumage erythrism as a result of the spread of alien shrubs in North America. *North American Bird Bander* 42:95-103.
- Jablonski, D., B. Trapp, E. Tzoras & K. Mebert. 2022. Erythrism in the Eastern Grass Snake, *Natrix natrix* (Linnaeus, 1758). *Herpetozoa* 35:213-217.
- Köhler, G. 2012. Color Catalogue for Field Biologists. Herpeton. Herpeton Verlag Elke Kohler. Offenbach, Alemania
- Kolenda, K., B. Najbar, A. Najbar, P. Kaczmarek, M. Kaczmarek & T. Skawiński. 2017. Rare colour aberrations and anomalies of amphibians and reptiles recorded in Poland. *Herpetology Notes* 10:103-109.
- McGraw, K.J., J. Hudon, G.E. Hill & R.S. Parker. 2005. A simple and inexpensive chemical test for behavioral ecologists to determine the presence of carotenoid pigments in animal tissues. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 57:391-397.
- Ramírez-Bautista, A., U., Hernández-Salinas, U.O., García-Vázquez, A., Leyte-Manrique, & L. Canseco-Márquez. 2009. Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 213p.
- Rojas-Velasco, I.Y., L.G. Tovar, S.A. Díaz-Parra & J.C. Alvarado Avilés. 2023. Eritrismo en la culebra listonada de montaña cola corta, *Thamnophis scaliger* (Colubridae), en el Estado de México. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 6:e780 (193-196).
- Rossman, D.A. 1996. The Garter Snakes: Evolution and Ecology. University of Oklahoma Press.
- Vitt, L.J. & J.P. Caldwell. 2014. Herpetology: an Introductory Biology of Amphibians and Reptiles. Academic Press.

