



## Neotropical Helminthology



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

### IS THERE A RELATION BETWEEN PARASITISM AND TAIL AUTOTOMY IN LIZARDS? CASE STUDY IN *LIOLAEMUS DARWINII* (IGUANIA: LIOLAEMIDAE)

### ¿EXISTE RELACIÓN ENTRE EL PARASITISMO Y LA AUTOTOMÍA DE COLA EN LAGARTIJAS? CASO DE ESTUDIO EN *LIOLAEMUS DARWINII* (IGUANIA: LIOLAEMIDAE)

Gabriel N. Castillo<sup>1,2,3,4\*</sup>; Rubén Fernandez<sup>1,2,3</sup>; Lucas Corrales-Zuñiga<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Av. Ignacio de la Roza 590, 5402, San Juan, Argentina. Av. Ignacio de la Roza 590, 5402, San Juan, Argentina.

<sup>2</sup>Gabinete de Investigación Diversidad y Biología de Vertebrados del Árido (DIBIOVA). Universidad Nacional de San Juan. Av. Ignacio de la Roza 590, 5402, San Juan, Argentina.

<sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Av. Ignacio de la Roza 590, 5402, San Juan, Argentina.

<sup>4</sup>CIGEOBIO (Centro de Investigaciones de la Geósfera y Biósfera) CONICET-UNSI, Av. Ignacio de la Roza 590, 5402, San Juan, Argentina.

\*Corresponding author: [liolaemusparvus@gmail.com](mailto:liolaemusparvus@gmail.com)Gabriel N. Castillo: <https://orcid.org/0000-0003-1519-9457>Rubén Fernandez: <https://orcid.org/0000-0002-1130-7396>Lucas Corrales Zuñiga: <https://orcid.org/0000-0003-3485-9561>

## ABSTRACT

Tail autotomy acts as anti-predatory mechanism in a great diversity of lizard species. Research links tail loss with various aspects of lizard life history. However, parasitic aspects are not taken into consideration, despite being a variable that greatly influences reptile ecology. For the first time, it is proposed that the existence of a relationship between the caudal autotomy of a lizard species is related to its parasitic condition. We studied 30 adult specimens of *Liolaemus darwinii* Bell, 1843 in the desert of Monte, San Juan province, Argentina. Autotomy was used as a direct measure of predator-prey interaction. A series of variables were analyzed that could be related to tail autotomy. The following variables were studied using generalized linear models: sex, environments (disturbed vs. conserved), condition (parasitized vs. not parasitized), parasitic intensity, weights (g) and snout-vent length (Lhc). The dependent variable (presence of tail: 1, absence of tail: 0) was adjusted to a binomial distribution, whose link function is logit (logistic regression). Only the variable parasitized vs. non-parasitized condition was significantly associated with tail autotomy. Parasitized individuals all have cut tails or in some stage of regeneration.

Este artículo es publicado por la revista *Neotropical Helminthology* de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú auspiciado por la Asociación Peruana de Helmintología e Invertebrados Afines (APHIA). Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24039/nh20221621500>

Individuals that were not parasitized had complete tails (intact). The results establish for the first time a relationship between parasitism and tail loss in *L. darwini*. The results are discussed in a behavioral ecological context and physiological resource allocation. In addition, our work is an approach to understanding the role of parasites in the ecology of *L. darwini* in the Monte desert in Argentina.

**Keywords:** Argentina – behavior – *Liolaemus darwini* – parasitism – tail loss – San Juan

## RESUMEN

La autotomía de cola es usada como estrategia antipredatoria en diversas especies de lagartijas. Las investigaciones relacionan la pérdida de cola con diversos aspectos en la historia de vida en reptiles. Sin embargo, los aspectos parasitarios no son tenidos en cuenta, a pesar de ser una variable que influye enormemente en la ecología de reptiles. Por primera vez, se propone la existencia de una relación entre la autotomía caudal de una especie de lagartija con su condición parasitaria. Se analizaron 30 ejemplares adultos de *Liolaemus darwini* Bell, 1843 capturados en el desierto del Monte, provincia de San Juan, Argentina. Se utilizó la autotomía caudal como medida directa de interacción entre depredador y presa. Se analizaron cinco variables que podrían relacionarse con la autotomía de cola. Para ello, fueron estudiadas mediante modelos lineales generalizados las variables; sexos, ambientes (perturbado/ conservado), condición (parasitado/ no parasitado), intensidad parasitaria, pesos (g) y longitud hocico- cloaca (Lhc). La variable dependiente (presencia cola: 1, ausencia de cola: 0) se ajustó a una distribución binomial, cuya función de enlace es logit (regresión logística). Solo la variable condición parasitado/ no parasitado se asoció significativamente con la autotomía de cola. Los individuos que se encontraban parasitados, presentaban en su mayoría colas cortadas o en alguna etapa de su regeneración. Sin embargo, los individuos que no estaban parasitados presentaban colas completas (intactas). Los resultados establecen por primera vez una relación entre el parasitismo y la pérdida de cola en *L. darwini*. Se discuten los resultados en un contexto ecológico comportamental y asignación fisiológica de recurso. Además, nuestro trabajo es una aproximación al entendimiento del rol de los parásitos en la ecología de *L. darwini* en el desierto del Monte en Argentina.

**Palabras clave:** Argentina – comportamiento – *Liolaemus darwini* – parasitismo – pérdida de cola – San Juan

## INTRODUCCIÓN

Los efectos a largo plazo de los parásitos en reptiles son poco conocidos teniendo un impacto casi indetectable en sus hospedadores. La aptitud de los hospedadores es afectada negativamente por el parasitismo, alterando así, la dinámica de la población (Sinclair *et al.*, 2006; Vitt & Caldwell, 2009; Er-Rguibi *et al.*, 2021). Existen pocos estudios ecológicos de los efectos negativos del parasitismo en la fauna silvestre, siendo aún más escasos los relacionados a reptiles (Castillo *et al.*, 2020).

La autotomía caudal en lagartos (la capacidad de auto-amputarse una parte de la cola), es un mecanismo eficaz de defensa ante el ataque de un

depredador (Arnold, 1984) o una confrontación agonística entre machos (Itescu *et al.*, 2017). Existe evidencia que sugiere que factores ecológicos, como la estructura del hábitat, están relacionados con la autotomía de la cola (Arnold, 1984; Bateman & Flemming, 2009). Además, el sexo, la edad de la presa y el tipo de depredador también pueden influir en la liberación de la cola (Higham *et al.*, 2013). La autotomía caudal es un mecanismo efectivo de supervivencia (Fox & Rotsker, 1982; Arnold, 1984), pero también es una defensa muy costosa (Bateman & Fleming, 2009). Las consecuencias del desprendimiento de la cola constituyen costos ecológicos, energéticos y sociales (Fox & Rotsker, 1982; García-Rosales & Martínez-Coronel, 2016; Savvides *et al.*, 2018). Los detalles de los costos y beneficios de la autotomía de la cola en lagartos se revisaron en

Arnold (1984), Maginnis (2006), Bateman & Fleming (2009), Higham *et al.* (2013) y Emberts *et al.* (2019).

Las infecciones parasitarias pueden dar como resultado patologías que afecten el comportamiento del hospedador en la naturaleza (Schall & Sarni, 1987). El parasitismo tiene múltiples efectos potenciales sobre las decisiones de escape (Cooper & Frederick, 2010). Los lagartos parasitados pueden tener un estado físico más bajo, así como una menor capacidad locomotora, lo que reduce la capacidad de escape y aumenta las probabilidades de ser capturado por un depredador (Garrido *et al.*, 2014). Por otro lado, en individuos con colas autotómicas, después de la pérdida de la cola, la regeneración caudal puede ser costosa (Maginnis, 2006; Bateman & Fleming, 2009). Esto puede comprometer otras funciones fisiológicas, como el sistema inmunológico, aumentando la probabilidad de infecciones parasitarias (Kuo *et al.*, 2013). Estas infecciones, pueden afectar rasgos fisiológicos, como la velocidad de regeneración celular en colas autotómicas (Oppliger & Clobert, 1997) y rasgos morfológicos como una disminución del peso (g) (Lazić *et al.*, 2017). Bower *et al.* (2019) realizan una revisión de los múltiples efectos de las infecciones parasitarias en reptiles que incluyen aspectos fisiológicos y comportamentales. Sin embargo, un tema que no es tratado por este autor es la relación entre la autotomía de cola en reptiles y el parasitismo.

*Liolaemus darwini* Bell, 1843 es un lagarto de tamaño medio de 65 mm. Esta especie se distribuye en distintas provincias de Argentina (Ceí, 1986; Abdala *et al.*, 2012; Acosta *et al.*, 2017). Son ovíparos con dos posturas al año y tamaño medio de camada entre 3 y 6 huevos (Ceí, 1986; Acosta *et al.*, 2017). Es una especie insectívora, alimentándose principalmente de hormigas (Videla, 1983; Ávila & Acosta, 1993). Su estado de conservación es no amenazado (Abdala *et al.*, 2012). Castillo *et al.* (2020) realizaron un análisis parasitario el cual mencionaron que *L. darwini* se encuentra parasitada por estadios larvales del nemátodo *Physaloptera retusa* Rudolphi, 1819. Este nemátodo presenta ciclo heteroxeno. Goldberg & Bursey (1989) encontraron que *P. retusa* causa serios daños al hospedador generando una lesión inflamatoria erosiva en la mucosa

gástrica.

Dado los antecedentes mencionados, es un hecho que los parásitos pueden afectar la dinámica de la población y comunidad en lagartijas. Debido a esto, nosotros proponemos la hipótesis que el parásito *P. retusa* se encuentra relacionado con la autotomía caudal de *L. darwini*. Predecimos que individuos parasitados presentarán colas cortadas o en alguna etapa de regeneración. Contrariamente, individuos no parasitados en su gran mayoría no presentarán signos de pérdida o regeneración de cola.

El objetivo de este artículo es analizar si existe relación entre el endoparasitismo y la autotomía caudal en una población de *L. darwini* en el desierto del Monte, provincia de San Juan, Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la localidad del Encón, Departamento 25 de Mayo (32°12'72" S, 67°47'28" W) provincia de San Juan, Argentina. Este sector se encuentra representado por la provincia fitogeográfica del Monte, abarcando extensas áreas áridas con un promedio de precipitación menor a 100 mm/año, con años sin registros algunos. Abarca una superficie aproximada de 40.499 km<sup>2</sup>, correspondiendo al 45% del total de la provincia. Predominan plantas xerófilas adaptadas al clima cálido y seco, con escasas precipitaciones estivales. La vegetación responde a los ciclos húmedos y secos y se caracteriza por la presencia de estepas arbustivas que sobrepasan los 3 m de altura, que se ramifican desde la base (Morello, 1958). En el matorral del monte dominan las Zigofiláceas, Malpigiáceas y Fabáceas. Entre las Zigofiláceas se mencionan jarilla (*Larrea divaricata* Cavanilles, 1800, *Larrea cuneifolia* Cavanilles, 1800), retamo (*Bulnesia retama* Grisebach, 1874), manca potrillo (*Plectrocarpa tetraantha* Gillies, Hooker & Arnoot); entre las Malpigiáceas a *Tricomaria ucillo* Hooker & Arnoot, 1833; y las Fabáceas se encuentran especies arbustivas como *Prosopis*, el tintitaco (*Prosopis torquata* Candolle, 1825), y el lamar (*Prosopis alpataco* Phil, 1832) (Marquez *et al.*, 2016).

Los muestreos se realizaron durante tres años 2017, 2018 y 2019. Se capturaron un total de  $n=30$  ejemplares adultos de *L. darwinii* (14 machos; 16 hembras). Se colocaron 16 trampas de caída al azar (ancho 25 cm, alto 37 cm), de las cuales ocho fueron colocadas en un sitio perturbado y 8 en un sitio que consideramos control. Cada trampa se encontraba enterrada con una profundidad de 37 cm, dejando al ras del suelo la abertura de entrada a la trampa. Los ejemplares capturados fueron llevados al laboratorio y sacrificados mediante inyección intraperitoneal de solución para eutanasia, Euthanyle® (pentobarbital sódico), fijados en solución Bouin durante 24 h, etiquetados y conservados en alcohol etílico al 70%. Los ejemplares de *L. darwinii* estudiados se encuentran depositados en la colección herpetológica del departamento de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina (*L. darwinii*: UNSJ: 4033–4052).

#### **Sexos, pesos (g) y longitud hocico- cloaca (Lhc)**

De cada ejemplar se registraron: longitud hocico-cloaca (lhc) con un calibre de precisión 0,01 mm y pesos (g) mediante una balanza digital. Se determinó el sexo en campo y se confirmó en laboratorio mediante la presencia de gónadas.

#### **Autotomía de cola**

Se clasificaron los individuos capturados en dos grupos; a) los ejemplares con cola intacta, sin ningún tipo de señales de regeneración, de hora en más los hemos dado en llamar “cola completa” y b) ejemplares con alguna señal de regeneración, con daños o cola amputada, le hemos llamado para simplificar “cola cortada”. Para ello, se procedió a la observación directa de los individuos una vez capturados.

#### **Condiciones parasitadas y no parasitadas**

Para caracterizar los individuos que estaban parasitados, estos fueron disecados para la extracción de nemátodos mediante una incisión longitudinal ventral boca- cloaca. El tubo digestivo fue extraído y revisado mediante microscopio binocular estereoscópico. Los nemátodos hallados se conservaron en etanol 70°. Para su observación e identificación se utilizó la técnica de diafanización en lactofenol. Para la identificación del parásito se usó un microscopio óptico Arcano y bibliografía pertinente (Ramallo & Díaz, 1998; Anderson *et al.*,

2009). Los nemátodos estudiados se encuentran depositados en la colección parasitológica del departamento de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina (*Physaloptera retusa*: UNSJPar: 260).

Se calcularon los indicadores de infección parasitaria propuestos por Bush *et al.* (1997): Prevalencia (P), abundancia media (Am), intensidad (I) e intensidad media (Im).

#### **Elección de áreas perturbada y control (poco perturbada)**

Para la elección de las áreas con diferentes grados de perturbación seguimos los criterios propuestos por Hannah *et al.* (1994) y Sanderson *et al.* (2002). Hannah *et al.* (1994) definen el disturbio humano en categorías que clasifica los ecosistemas como “no perturbados” o “perturbado”. Sanderson *et al.* (2002) y Hannah *et al.* (1994) definen la influencia humana o huella humana (“human footprint”), mediante proxies geográficos. Estos consideran que se pueden diferenciar un sector perturbado de uno más conservado por la proximidad a puntos de accesos, como podrían ser carretera. Como así también por transformación de la tierra.

En la localidad del Encón, departamento Sarmiento, provincia de San Juan, Argentina, nuestro lugar de muestreo, se consideraron dos sectores, a) sector perturbado, es el más próximo a la ruta, que se caracteriza por un gran porcentaje de suelo desnudo, presencia humana, animales domésticos y de granja. Se colocaron ocho trampas de caída a lo largo de una transecta de 100 m de longitud y b) sector control, se encuentra más alejado de la ruta, a 400 m distancia del sitio perturbado, se colocaron 8 trampas de caída a lo largo de una transecta de 100 m de longitud. Este sitio se caracteriza por no tener actividades humanas ni de animales.

#### **Análisis de datos**

Se realizó un análisis binomial binario mediante modelos lineales generalizados (GLM) en R (versión 0,9). Se estudiaron las relaciones entre las variables; peso (g), tamaño (longitud hocico-cloaca), sexo (machos y hembras), condición (parasitado/ no parasitado), ambientes (perturbado y control) e intensidad parasitaria, con la variable presencia/ ausencia cola. La variable dependiente

(presencia cola: 1, ausencia de cola: 0) se ajustó a una distribución binomial, cuya función de enlace es logit (regresión logística). Se usó el siguiente modelo: glm (presencia/ ausencia ~ peso + tamaño + sexo + condición + ambientes + intensidad parasitaria, family = binomial). Se partió de un modelo "full", se eliminaron las variables que no tuvieron un efecto significativo y se evaluó el cambio en la desviación (deviance), hasta llegar a un modelo mínimo adecuado. Para evaluar el porcentaje de la variación que explicaba nuestro análisis (Binomial), se lo calculó como porcentaje de variación:  $((\text{Null deviance} - \text{residual deviance}) / \text{Null deviance}) \times 100$ .

**Aspectos éticos:** Se siguieron estrictamente todas las pautas internacionales, nacionales y/o institucionales aplicables para el cuidado y uso de animales. Todos los protocolos de recolección de muestras animales cumplieron con las leyes vigentes de Argentina.

## RESULTADOS

Se capturó un total de 30 ejemplares de *L. darwini* (machos  $n=14$  y hembras  $n=16$ ). La frecuencia de captura de machos con cola completa  $n=5$ ; cortada  $n=9$  y hembras cola completa  $n=7$ ; cortada  $n=9$ . Tanto machos como hembras no se encontraron diferencias estadísticas en la frecuencia de pérdida de cola: machos ( $X^2=1,14$ ,  $df=1$ ,  $p=0,20$ ), hembras ( $X^2=0,25$ ,  $df=1$ ,  $p=0,60$ ). Nuestro análisis de GLM indicó que no hay efecto del sexo en la autotomía caudal de *L. darwini* (Binomial GLM,  $Z=0,006$ ,  $p=0,90$ ).

En el ambiente perturbado fueron registrados nueve individuos con cola cortada y nueve con cola completa. A su vez en el sitio control se registraron tres individuos con cola completa y nueve con cola cortada. No se registró un efecto del tipo de ambiente (perturbado o control) en la autotomía caudal de *L. darwini* (Binomial GLM,  $Z=1,20$ ,  $p=0,20$ ).

Las medidas de tendencia central respecto al peso y tamaño (lhc) de los individuos con cola completa y cortada se observan en la tabla 1. No se encontraron diferencias estadísticas en peso (test-Mann Whitney,  $U=82$ ;  $p=0,26$ ) y tamaño (lhc)

(test- Mann Whitney,  $U=68,5$ ;  $p=0,09$ ) entre individuos de cola completa y cortada. Las variables peso (Binomial GLM,  $Z=1,3$ ,  $p=0,10$ ) y tamaño (Binomial GLM,  $Z=0,06$ ,  $p=0,90$ ) no ejercen efecto en la autotomía caudal de *L. darwini*. De igual forma, no se observó un efecto de la intensidad parasitaria (Binomial GLM,  $Z=0,001$ ,  $p=0,90$ ) en la pérdida de cola de *L. darwini*.

Sin embargo, la autotomía caudal de *L. darwini* se encuentra asociada significativa con la condición parasitado (Binomial GLM,  $Z=-3,4$ ,  $p=0,0006$ ). Nuestros resultados explicaron el 42,12%  $((\text{Null deviance} - \text{residual deviance}) / \text{Null deviance}) \times 100$  de la asociación entre la autotomía caudal y la condición parasitado de *L. darwini*.

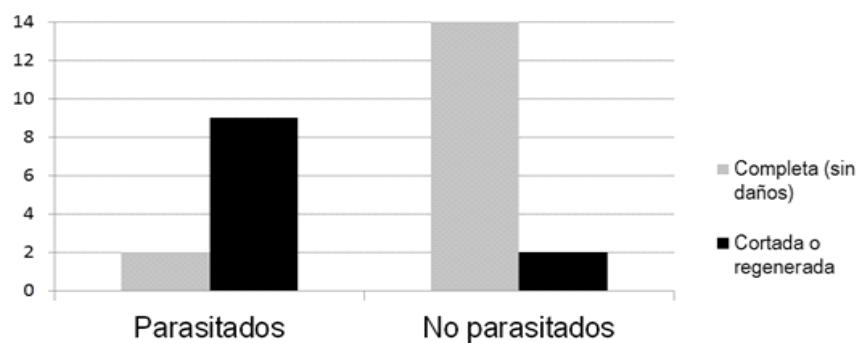
En la figura 1, se observan las frecuencias de cola cortadas y completas en individuos parasitados ( $X^2=4,4$ ,  $df=1$ ,  $p=0,03$ ) e individuos no parasitados ( $X^2=9$ ,  $df=1$ ,  $p=0,002$ ), observándose en ambos casos diferencias estadísticas.

Con respecto a individuos con cola cortada ( $n=12$ ), 10 se encontraban parasitados y dos sin parásitos. Los valores de los índices ecológicos parasitarios para individuos con cola cortada son; intensidad media= 1,5; abundancia media= 1,25; prevalencia= 83%. Con respecto a individuos con cola completa ( $n=18$ ) solo se hallaron 2 parasitados, siendo sus valores ecológicos parasitarios intensidad media= 2; abundancia media= 0,20; prevalencia= 11%.

Sin considerar el parasitismo, no se observaron diferencias estadísticas en las frecuencias entre individuos con colas amputada ( $n=18$ ) y sin ningún tipo de señales de daño ( $n=12$ ) ( $X^2=1,2$ ,  $df=1$ ,  $p=0,20$ ).

## DISCUSIÓN

Evaluamos posibles relaciones entre la autotomía caudal (cola completa, sin deterioro/ cola cortada, con deterioro de cola) y diferentes variables asociadas a la lagartija *L. darwini*; peso (g), tamaño (longitud hocico-cloaca), sexo (machos y hembras), condición (parasitado/ no parasitado), ambientes (perturbado y control) e intensidad parasitaria. Se infiere que podría existir relaciones



**Figura 1.** Relación entre ejemplares parasitados y no parasitados con la autotomía caudal en *Liolaemus darwini*. No parasitados (cola completa n= 14, cortada/ regenerada n=2), parasitados (cola completa n= 2, cortada/ regenerada n=9).

**Tabla 1.** Medidas de resumen para individuos de *Liolaemus darwini* con cola cortadas y completas. DE = Desviación Estándar.

Colas		Media	DE	Min.	Max.
Cortadas / regeneradas	Peso	4,43	1,01	2,5	6,3
	Lhc	50,67	7,36	35	61
Completas	Peso	3,9	0,75	2,5	5,5
	Lhc	46,58	7,46	35	58

importantes entre el parasitismo con el apéndice caudal de *L. darwini*. Nuestros resultados indicaron que solo la variable “condición no parasitado/ parasitado” por el nemátodo *P. retusa* se asoció significativamente con la autotomía de cola. Esto abre un debate y una nueva variable (parasitismo) a tener en cuenta en estudios ecológicos de comportamiento e interacción social en lagartijas. Un aspecto que nunca se había tenido en cuenta en estudios de interacción social.

Este estudio implica dos aspectos interesantes de analizar, en primer lugar, es conocido que existen factores que influyen en la autotomía de cola en lagartijas, tales como el hábitat, sexo, edad, estado reproductivo y densidad poblacional (García de la Peña *et al.*, 2004; Castañeda *et al.*, 2011; Casas *et al.*, 2016). En segundo lugar, existen consecuencias asociadas a la pérdida de cola, lo que implican costos energéticos asociados a la asignación de recursos, llamado asignación fisiológica de recursos (Maginnis, 2006). Además de los relacionados a la locomoción, búsqueda de alimento, supervivencia y/o reproducción

(Maginnis, 2006). Maginnis (2006) realizó una revisión sobre la autotomía en animales asociado a costos y beneficios de la pérdida de un apéndice. Sin embargo, el parasitismo no fue tomado en cuenta como factor relacionado a la autotomía caudal en lagartijas. Este hecho probablemente se deba a que no habían sido realizado estudios que relacionaran los parásitos con la autotomía. Por lo tanto, este trabajo resalta de interés, debido a que por primera vez mostramos una relación entre el parasitismo y la autotomía caudal en una lagartija.

Nuestros resultados mostraron que habría una relación entre el endoparásito de ciclo heteroxeno *P. retusa* y la permanencia o ausencia de cola en la lagartija del desierto del Monte *L. darwini*. Estos resultados indicaron que los individuos que se encontraban parasitados, casi todos presentaban colas cortadas o en alguna etapa de su regeneración. Sin embargo, los individuos que no estaban parasitados presentaban colas completas (no la habrían perdido). De estos resultados obtenidos en *L. darwini* es difícil deducir si los parásitos entraron al hospedador antes o después de

perder la cola. Sin embargo, podemos inferir dos situaciones posibles con el solo propósito de acercarnos a una realidad; las dos hipótesis que planteamos son; 1) La primera consiste en suponer que el individuo ya se encontraba parasitado, lo que origina que los parásitos induzcan de alguna forma la susceptibilidad del hospedador a la depredación. De esta forma, afectando el comportamiento de escape, como así también influyendo en las decisiones de escape frente a un predador. Los individuos parasitados presentarían algún tipo de comportamiento más arriesgados o una conducta de escape menos eficientes y mayor riesgo de ser atrapado por un depredador en comparación de individuos no parasitados. Varios estudios han demostrado que la mayoría de los huéspedes parasitados experimentan un riesgo de depredación desproporcionadamente mayor (Moller & Nielsen, 2007; Genovart *et al.*, 2010; Garrido *et al.*, 2014). Además, la eficiencia metabólica y el rendimiento locomotor deteriorado de los organismos infectados reducen la capacidad de escape (Bauwens & Thoen, 1981; Schall & Sarni, 1987; Hernandez-Caballero *et al.*, 2022). En muchas especies de lagartos, la velocidad de carrera disminuye a medida que aumenta la carga parasitaria (Oppliger *et al.*, 1996; Main & Bull, 2000; Garrido & Pérez-Mellado, 2014). Por lo tanto, las lagartijas parasitadas podrían ser más vulnerables a la depredación (Temple, 1987) porque su movilidad y capacidad de escape es reducida (Oppliger *et al.*, 1996). Por lo que suponemos que la mayor probabilidad de ser capturado por un predador se ve reflejado por una relación entre un mayor porcentaje de pérdida de cola o colas regeneradas y presencia de parásitos.

La segunda situación podría ocurrir con individuos que en principio no se encontrarían parasitados. La pérdida del apéndice debido a depredación o lucha interespecífica, podría ocurrir por eventos ajenos a los parásitos. La pérdida de cola y su posterior regeneración implica un gasto extra de energía y probablemente una asignación fisiológica de recurso. En su trabajo Dial & Fitzpatrick (1981) mencionan que la selección favorece aquellos individuos que priorizan la asignación de energía (la que nosotros hemos dado en llamar asignación fisiológica de recursos) a la reproducción, a expensas de otros receptores de energía como la regeneración de cola. Los costos relacionados con la pérdida de la cola en varias especies de lagartos

incluyen la pérdida directa de reservas de energía (Vitt *et al.*, 1977; Cooper *et al.*, 2004). Debido a que la defensa inmunológica también cuesta energía (Klasing, 2004), perder la cola y dedicar energía (que se desvía de otros procesos) a su regeneración, podría comprometer el sistema inmunológico (Kuo *et al.*, 2013), y dejar a los individuos susceptibles a ser parasitados.

Nuestros resultados mostraron que no hay evidencia suficiente de que el tipo de ambiente influya en la pérdida de cola en *L. darwini*. La autotomía caudal de los lagartos en el campo se ha utilizado como una medida indicadora de la depredación (Bateman & Fleming, 2009). Los cambios en la estructura y calidad del hábitat inducidos por las actividades humanas, pueden afectar la dinámica de las interacciones entre lagartos y depredadores (Anderson & Burgin, 2008; Kheen & Feldman, 2018), cambiando la intensidad de la depredación experimentada por las especies de presa en hábitats alterados (Fischer *et al.*, 2012). Por ejemplo, la reducción de la cobertura vegetal (Castañeda *et al.*, 2011) puede alterar la percepción de riesgo de los lagartos al reducir la disponibilidad de refugios seguros y aumentar el riesgo de depredación (Bels & Russell, 2019). Por lo tanto, en hábitats o microhábitats donde los lagartos son más detectables o más vulnerables a los ataques, se espera que experimenten un mayor riesgo de depredación (Cooper & Blumstein, 2015). Sin embargo, en nuestro estudio, no encontramos evidencia que el tipo de sitio perturbado (menores parches de vegetación) o poco perturbado (mayores parches de vegetación) se encuentre asociado a la pérdida de cola. Resultados similares obtuvieron García-Rosales & Martínez-Coronel (2016) donde la pérdida de cola en las tres especies de lagartijas estudiadas, no mostraron diferencias significativas entre hábitats. Por lo tanto, el hábitat en nuestro sistema de estudio en *L. darwini* no es una variable que explique la frecuencia de pérdida de cola. Además, nuestros resultados no muestran evidencia que el peso, tamaño o sexo se encuentre relacionado con la pérdida de cola en *L. darwini*. García-Rosales & Martínez-Coronel (2016) también mencionan que el sexo o la edad del individuo no influyeron en la frecuencia de pérdida de cola en un ensamble de lagartijas en México.

En nuestra revisión bibliográfica observamos que

son sumamente escasos los trabajos que incluyan al parasitismo como un posible factor que se relacione con la autotomía de cola en lagartijas. Nosotros proponemos que los factores parasitológicos deben ser incluidos como una variable fundamental que afecta a la ecología en reptiles. El parasitismo en el hospedador produce un incremento en el tiempo de regeneración celular en la autotomía de colas en lagartijas. En un estudio Oppliger & Clobert (1997) encontraron que las infecciones pueden afectar la velocidad de regeneración celular en colas autotómicas.

Finalmente, en las interacciones parásitos-hospedadores existe una coevolución en las asociaciones, en donde el parásito en ciertas ocasiones no le convendría destruir a su hospedador (Rodríguez *et al.*, 2014). Sin embargo, los parásitos pueden alterar drásticamente el comportamiento del hospedador, incluido el comportamiento antidepredador (Moore, 2002; Garrido *et al.*, 2014). Por lo tanto, el parásito *P. retusa* podría tener efectos sobre el comportamiento de escape de *L. darwinii*, aumentando las posibilidades de ser capturado por el predador. Esto con el fin de que el parásito complete el ciclo (debido a que *L. darwinii* es hospedador paraténico) hacia un hospedador definitivo. Sin embargo, estas situaciones son inferencias nuestras, que deberán ser analizadas con profundidad, debido a que hasta el momento no fueron realizados ningún trabajo que asocie el parasitismo con la pérdida de cola en lagartijas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, CS, Acosta, JL, Acosta, JC, Blanca, BA, Arias, F, Avila, LJ, Blanco, MG, Bonino, M, Boretto, JM, Brancatelli, G, Breitman, MF, Cabrera, MR, Cairo, S, Corbalan, V, Hernando, A, Ibarguengoytia, NR, Kacolis, F, Laspiur, A, Montero, R, Morando, M, Pelegrin, N, Perez, CHF, Quinteros, AS, Semhan, RV, Tedesco, ME, Vega, L & Zalba, SM. 2012. *Categorización del estado de conservación de las lagartijas y anfisbenas de la República Argentina*. Cuadernos de herpetología, vol. 26, pp. 215–248.
- Acosta, JC, Blanco, GM, Gómez-Alés, R, Acosta, R, Piaggio-Kokot, L, Victorica, AE, Villavicencio, HJ & Fava, GA. 2017. *Los reptiles de San Juan*. Editorial Brujas.
- Anderson, RC, Chabaud, AG & Willmott, S. 2009. *Keys to the nematode parasites of vertebrates*. CAB International.
- Arnold, EN. 1984. *Evolutionary aspects of tail shedding in lizards and their relatives*. Journal of Natural History, vol. 18, pp. 127–169.
- Ávila, L, Acosta, JC. 1993. *Notas sobre el comportamiento de Liolaemus darwinii (Sauria: Tropicuridae)*. Facena, vol. 10, pp. 57–61.
- Bateman, PW & Fleming, PA. 2009. *To cut a long tail short: a review of lizard caudal autotomy studies carried out over the last 20 years*. Journal of zoology, vol. 277, pp. 1–14.
- Bauwens, D & Thoen, C. 1981. *Escape tactics and vulnerability to predation associated with reproduction in the lizard Lacerta vivipara*. The Journal of Animal Ecology, vol. 50, pp. 733–743.
- Bels, V & Russell, A. 2019. *Behavior of lizards: evolutionary and mechanistic perspectives*. Crc Press.
- Bower, DS, Brannelly, LA, McDonald, CA, Webb, RJ, Greenspan, SE, Vickers, M & Greenlees, MJ. 2019. *A review of the role of parasites in the ecology of reptiles and amphibians*. Austral Ecology, vol. 44, pp. 433–448.
- Bush, AO, Lafferty, KD, Lotz, JM & Shostak, AW. 1997. *Parasitology meets ecology on its own terms*. Journal of Parasitology, vol. 83, pp. 575–583.
- Castañeda, G, García De la Peña, C, Gadsden H, Contreras-Balderas, AJ & Cooper, Jr, WE. 2011. *Tail loss incidence in the Chihuahuan fringe toed-lizard Uma paraphygas (Squamata: Phrynosomatidae)*. Revista Mexicana de Biodiversidad, vol. 82, pp. 193–198.
- Castillo, GN, Acosta JC, González-Rivas, CJ & Ramallo, G. 2020. *Checklist of nematode parasites of reptiles from Argentina*. Annals of Parasitology, vol. 66, pp. 425–432.
- Casas, MH, Aráoz, E & Montero, R. 2016. *Prevalence of Autotomy and Tail*



- Regeneration in Teius teyou* (Reptilia, Teiidae). Journal of Herpetology, vol. 50, pp. 449-456.
- Cei, JM. 1986. *Reptiles del Centro, Centro-Oeste y Sur de la Argentina. Herpetofauna de Zonas Áridas y Semiáridas*. Museo Regionale di Scienze Naturali Torino. Monografia IV, pp. 112-120.
- Cooper, WE & Blumstein, DT. 2015. *Escaping from predators: an integrative view of escape 346 decisions*. Cambridge University Press.
- Cooper, WE, Jr & Frederick, WG. 2010. *Predator lethality optimal escape behavior and autotomy*. Behavior Ecology, vol. 21, pp. 91-96.
- Cooper, WE, Pérez-Mellado, V & Vitt, LJ. 2004. *Ease and effectiveness of costly autotomy vary with predation intensity among lizard populations*. Journal of Zoology, vol. 262, pp. 243-255.
- Dial, BE & Fitzpatrick, LC. 1981. *The energetic costs of tail autotomy to reproduction in the lizard Coleonyx brevis (Sauria: Gekkonidae)*. Oecologia, vol. 51, pp. 310-317.
- Er-Rguibi, O, Laghzaoui, EM, Aglagane, A, Kimdil, L, Abbad, A & Mouden, EH. 2021. *Determinants of prevalence and co-infestation by ecto- and endoparasites in the Atlas day gecko, Quedenfeldtia trachyblepharus, an endemic species of Morocco*. Parasitology Research, vol. 120, pp. 2543-2556.
- Embets, Z, Escalante, I & Bateman, PW. 2019. *The ecology and evolution of autotomy*. Biological Reviews, vol. 94, pp. 1881-1896.
- Fischer, JD, Cleeton, SH, Lyons, TP & Miller, JR. 2012. *Urbanization and the predation paradox: the role of trophic dynamics in structuring vertebrate communities*. Bioscience, vol. 62, pp. 809-818.
- Fox, SF & Rostker, MA. 1982. *Social cost of tail loss in Uta stansburiana*. Science, vol. 218, pp. 692-693.
- García de la Peña, C, Castañeda, G, Gadsden, H, Contreras-Balderas, AJ & Lazcano, D. 2004. *Autotomía caudal de Uma exsul (Sauria: Phrynosomatidae)*. Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana, vol. 12, pp. 43-48.
- García-Rosales, A & Martínez-Coronel, M. 2016. *Frecuencia de pérdida de la cola en un ensamble de lagartijas de Oaxaca, México*. Acta zoológica mexicana, vol. 32, pp. 174-181.
- Garrido, M & Pérez-Mellado, V. 2014. *Sprint speed is related to blood parasites, but not to ectoparasites, in an insular population of lacertid lizards*. Canadian journal of zoology, vol. 92, pp. 67-72.
- Garrido, M, Pérez-Mellado, V & Cooper, WE. 2014. *Complex relationships amongst parasite load and escape behaviour in an insular lizard*. Ethology, vol. 12, pp. 116-124.
- Genovart, M, Negre, N, Tavecchia, G, Bistuer, A, Parpal, L & Oro, D. 2010. *The young, the weak and the sick: evidence of natural selection by predation*. PLoS One, vol. 5, e9774.
- Goldberg, SR & Bursey, CR. 1989. *Physaloptera retusa (Nematoda, Physalopteridae) in naturally infected sagebrush lizards, Sceloporus graciosus (Iguanidae)*. Journal of Wildlife Diseases, vol. 25, pp. 425-429.
- Hannah, L, Lohse D, Hutchinson, C, Carr, JL & Lankerani, A. 1994. *A Preliminary Inventory of Human Disturbance of World Ecosystems*. Ambio, vol. 23, pp. 246-250.
- Hernandez-Caballero, I, Garcia-Longoria, L, Gomez-Mestre, I & Marzal, A. 2022. *The Adaptive Host Manipulation Hypothesis: Parasites Modify the Behaviour, Morphology, and Physiology of Amphibians*. Diversity, vol. 14, pp. 1-18.
- Higham, TE, Russell, AP & Zani, PA. 2013. *Integrative biology of tail autotomy in lizards*. Physiological and Biochemical Zoology, 86, pp. 603-610.
- Itescu, Y, Schwarz, R, Meiri, S & Pafilis, P. 2017. *Intraspecific competition, not predation, drives lizard tail loss on islands*. Journal of Animal Ecology, vol. 86, pp. 66-74.
- Keehn, JE & Feldman, CR. 2018. *Predator attack rates and antipredator flight behavior of side-blotched lizards (Uta stansburiana) at disturbed wind farms in Southern California, USA*. Herpetological Conservation and Biology, vol. 13, pp. 194-204.
- Klasing, KC. 2004. *The costs of immunity*. Dong Wu Xue Bao [Acta Zoologica Sinica], vol. 50, pp. 961-969.

- Kuo, CC, Yao, CJ, Lin, TE, Liu HC, Hsu, YC, Hsieh, MK & Huang, WS. 2013. *Tail loss compromises immunity in the many-lined skink, Eutropis multifasciata*. *Naturwissenschaften*, vol. 100, pp. 379-384.
- Lazić, MM, Carretero, MA, Živković, U & Crnobrnja-Isailović, J. 2017. *City life has fitness costs: reduced body condition and increased parasite load in urban common wall lizards, Podarcis muralis*. *Salamandra*, vol. 53, pp. 10-17.
- Maginnis, TL. 2006. *The costs of autotomy and regeneration in animals: a review and framework for future research*. *Behavioral Ecology*, vol. 17, pp. 857-872.
- Main, AR & Bull, CM. 2000. *The impact of tick parasites on the behaviour of the lizard Tiliqua rugosa*. *Oecologia*, vol. 122, pp. 574-581.
- Marquez, J, Carretero, EM & Dalmaso, A. 2016. *Provincias Fitogeográficas de la Provincia de San Juan*. In: Carretero, E. M. & Garcia A. eds. 2016. San Juan Ambiental. San Juan, Editorial Universidad Nacional de San Juan. p. 187-197.
- Moller, AP & Nielsen, JT. 2007. *Malaria and risk of predation: a comparative study of birds*. *Ecology*, vol. 88, pp. 871-881.
- Moore, J. 2002. *Parasites and the Behavior of Animals*. Oxford University Press on Demand.
- Morello, J. 1958. *La Provincia Fitogeográfica del Monte*. Opera Lilloana II, Tucumán.
- Oppliger, A, Celerier, ML & Clobert, J. 1996. *Physiological and behaviour changes in common lizards parasitized by haemogregarines*. *Parasitology*, vol. 113, pp. 433-438.
- Oppliger, A & Clobert, J. 1997. *Reduced tail regeneration in the common lizard, Lacerta vivipara, parasitized by blood parasites*. *Functional Ecology*, vol. 11, pp. 652-655.
- Ramallo, GR & Díaz, F. 1998. *Physaloptera lutzi (Nematoda, Physalopteridae) parasite de Liolaemus (Iguania, Tropiduridae) del noroeste Argentino*. *Boletín chileno de parasitología*, vol. 53, pp. 19-22.
- Rodríguez, D, Pedroso-Reyes, JG, Olivares, MJL, Sánchez-Castilleja, YM & Arece-García, J. 2014. *La interacción hospedero-parásito. Una visión evolutiva*. *Revista de Salud Animal*, vol. 36, pp. 1-6.
- Sanderson, EW, Jaiteh, M, Levy, MA, Redford, KH, Wannebo, AV & Woolmer, G. 2002. *The human footprint and the last of the wild: the human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not*. *BioScience* vol. 52, pp. 891-904.
- Savvides, P, Poliviou, V, Stavrou, M, Sfenthourakis, S & Pafilis, P. 2018. *Insights into how predator diversity, population density and habitat type may affect defensive behaviour in a Mediterranean lizard*. *Ethology Ecology & Evolution*, vol. 31, pp. 12-27.
- Schall, JJ & Sarni, GA. 1987. *Malarial parasitism and the behavior of the lizard, Sceloporus occidentalis*. *Copeia*, vol 1, pp. 84-93.
- Sinclair, AR, Fryxell, JM & Caughley, G. 2006. *Wildlife ecology, conservation, and management*. Blackwell Publishing.
- Temple, SA. 1987. *Do predators always capture substandard individuals disproportionately from prey populations?*. *Ecology*, vol. 68, pp. 669-674.
- Videla, F. 1983. *Hábitos alimentarios en Iguanidos del oeste árido de la Argentina*. *Deserta*, vol. 7, pp. 192-202.
- Vitt, LJ & Caldwell, JP. 2009. *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. 3rd Edition. Elsevier Inc.
- Vitt, LJ, Congdon, JD & Dickson, NA. 1977. *Adaptive strategies and energetics of tail autonomy in lizards*. *Ecology*, vol. 58, pp. 326-337.

Received August 30, 2022.  
Accepted November 8, 2022.