



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
Carrera de Ciencias Biológicas

Ecología térmica y potencial impacto del cambio climático en *Liolaemus ditadai*, un lagarto endémico de las Salinas Grandes, Córdoba, Argentina.

Tesinista: Romina Soledad Páez.

Director: Dr. Nicolás Pelegrin.

Codirector: Dr. Rafael Alejandro Lara-Résendiz.

Laboratorio de Ecología y Conservación de la Herpetofauna- Centro de zoología aplicada (CZA)

Ecología térmica y potencial impacto del cambio climático en *Liolaemus ditadai*, un lagarto endémico de las Salinas Grandes, Córdoba, Argentina.

Palabras claves: Chaco Seco, Herpetofauna, Modelado de Nicho, Salinas Grandes, Termorregulación, Tolerancia Térmica.

Tribunal Examinador

Nombre y Apellido:..... Firma:.....

Nombre y Apellido:..... Firma:.....

Nombre y Apellido:..... Firma:.....

Calificación:.....

Nota:.....

Agradecimientos

Le agradezco a mi amada Universidad Nacional de Córdoba por la educación pública que brinda. Argentina nos da la posibilidad a muchas personas que, como yo, de haber sido paga no podríamos haber estudiado a nivel superior, ofreciendo una educación gratuita y de calidad. Espero retribuirle a la sociedad por este privilegio.

Al centro de zoología por haber permitido que parte de mi estudio se realice allí. A mi Director y Codirector, Dr. Pelegrin y Dr. Lara-Résendiz por su colaboración y saber.

Al CONICET por el financiamiento, Gabi técnico del IDEA y al guardaparques por prestarnos su vivienda. Tampoco puedo dejar de nombrar a Ariel y Aldo quienes nos brindaron con todo amor su ayuda, conocimiento, comida y vivienda.

Muy particularmente les agradezco a mis amigos de la vida, mi mejor amiga en este mundo Carolina y mi amigo del alma Alexis por apoyarme siempre en esta travesía que fue la universidad y la vida misma. Por apoyarme en los momentos de mayor oscuridad cuando todo parecía imposible de lograr, ojala todos encuentre gente como ellos en la vida. En fin, gente que está siempre que la necesito con su amor incondicional.

A mi familia, mi bella Almendra. Mi vieja querida que me apoyó económicamente siempre y con cualquier locura que se me ocurría; incentivaba para que siga lo que verdaderamente me apasionaba, desde que se me ocurrió tocar la guitarra como Slash (no lo logré), hasta querer ir a conocer La Comarca y el Monumental. Gracias Vieja. No puedo no nombrar a mi abuela amada, pasamos momentos muy difíciles en este proceso y me alegro que puedas leer esto porque te amo y todos mis logros son compartidos con vos. A mi tío Jesús, porque siempre sin preguntar nada está ahí y mi tía Rosa por toda la comida que me daba para llevar al campo. Los amo.

No puedo no recordar a las personas maravillosas que me dio la carrera, en especial a Guadalupe, una amiga que me queda para la vida. Sin esa hermosa mesa de Diversidad Vegetal I nada hubiese sido tan divertido, nos ganamos el odio de nuestra profesora pero valió cada risa.

José querido, mereces un párrafo aparte por tu gran ayuda. No existen palabras que describan lo mucho que te agradezco porque sin obligación alguna, me guiaste en este proceso que fue durísimo para mí, me enseñaste, me ayudaste y me contuviste

siempre. GRACIAS JOSÉ, realmente conocí a un amigo y fue lo que más rescato de esta tesina.

Y por último a mi amado Club Atlético River Plate, por alegrar mi vida.

Ecología térmica y potencial impacto del cambio climático en *Liolaemus ditadai*, un lagarto endémico de Las Salinas Grandes, Córdoba, Argentina.

Palabras claves: Chaco Seco, Herpetofauna, Modelado de Nicho, Salinas Grandes, Termorregulación, Tolerancia.

Introducción

Los lagartos son organismos ectotermos y, como tales, la temperatura es una variable importante (Adolph y Porter 1993). Estos organismos suelen regular su temperatura corporal durante sus períodos de actividad, mediante la utilización de mecanismos conductuales y fisiológicos (Adolph y Porter 1993). Uno de los principales mecanismos por los que un lagarto termorregula es modificar el tiempo de exposición a la fuente de calor, alternando entre sol y sombra (Hertz et al. 1993). Dos factores importantes para la temperatura corporal del organismo son: la temperatura del sustrato y la temperatura del aire, por lo que el ambiente térmico es limitante para mantener la temperatura corporal óptima (Adolph y Porter 1993). No todas las especies utilizan las mismas estrategias para mantener su temperatura y llevar a cabo sus actividades biológicas y procesos fisiológicos. Por ejemplo, algunas especies regulan su temperatura corporal, seleccionando microhábitat con mayor o menor exposición al sol (termorreguladores), mientras que otros no regulan su temperatura corporal, que cambia de acuerdo a la temperatura ambiental (termoconformista) (Huey y Slatkin 1976).

Todas las especies poseen límites fisiológicos de temperatura denominados temperaturas críticas, tanto mínimas como máximas, que son extremos en la temperatura ambiental. Temperaturas superiores o inferiores a estos límites pueden llevar a la muerte de los animales (Cruz et al. 2005). Se ha observado que la temperatura afecta a la actividad de forrajeo, impactando directamente en su tasa de alimentación, además, se ha demostrado el impacto sobre su tasa digestiva (Angilletta et al. 2002). También afecta a la velocidad de escape, volviéndose un factor importante en la tasa de supervivencia. La temperatura no solo afecta a través de los límites fisiológicos, sino que también afecta los ciclos diarios y anuales de actividad que están determinados por las fluctuaciones en la temperatura, lo que puede tener un impacto directo en su supervivencia (Manjarrez 1994). Por ejemplo, en algunos lagartos de climas cálidos, los ciclos reproductivos comienzan antes que en áreas templadas o se repiten varias veces al año, mientras que en climas

fríos, la reproducción se ve restringida a una vez al año o alternancia de años (Adolph y Porter 1993, Pelegrin y Bucher 2015). Otro ejemplo, es que la temperatura también puede afectar directamente a la descendencia, influyendo en el tiempo de incubación, la mortalidad de huevos y en algunas especies la diferenciación sexual (Martínez-Gómez et al. 2014).

La temperatura corporal de los lagartos depende de factores externos, como la temperatura ambiental, así como de factores internos, por ejemplo del comportamiento y la fisiología. Por un lado la oferta térmica del hábitat puede ser determinada mediante la estimación de las temperaturas operativas (T_e) a nivel de microhábitat, mientras que los requerimientos térmicos de la especie se pueden estimar a través de la relación entre la temperatura corporal (T_b) que experimentan los individuos en el campo y las temperaturas preferidas o seleccionadas (T_{pref} o T_{set}) por los organismos en ausencia de presiones ecológicas, evaluadas en condiciones de laboratorio (Hertz et al. 1993).

Cuando la temperatura ambiental está cerca de las temperaturas críticas, los lagartos deben buscar refugio térmico. El tiempo que permanecen refugiados como consecuencia del estrés térmico o inactividad forzada, se conoce como horas de restricción (H_r). Es decir, el lapso del día que no tienen disponible para realizar sus actividades biológicas, el cual se estima como el acumulado de horas del día en que la T_e supera a la T_{pref} (Sinervo et al. 2010). La restricción de sus actividades biológicas no es un dato menor, sobretodo en períodos reproductivos, ya que tanto la tasa de reproducción como la densidad poblacional se pueden ver afectadas (Sinervo et al. 2010). Las horas de restricción no solo se ven afectadas por el rango de temperaturas preferidas de la especie, también se ha demostrado que tienen una relación lineal con la diferencia entre la temperatura máxima ambiental (Lara-Resendiz et al. 2015). Así, la cantidad de horas donde las temperaturas disponibles son superiores al rango de temperaturas preferidas son consideradas horas límite (H_r). Si el número de horas de actividad es mayor o igual a las H_r , la población se encuentra en riesgo de extinción (Sinervo et al. 2018).

La influencia de la temperatura sobre el desempeño locomotor se puede representar con una curva de desempeño térmico, que en ectotermos generalmente tiene una forma asimétrica inclinada hacia la izquierda. Los límites de la misma están determinados por las temperaturas críticas máximas y mínimas, donde el desempeño es mínimo y se pierde ciertos reflejos motrices, como la capacidad de un individuo de volver a su postura original después de ser acostado sobre su espalda (reflejo de enderezamiento) (Miles 1994). El rango establecido entre los límites se denomina tolerancia térmica. No

hay que confundir tolerancia con el rango de actividad, que está establecido entre la temperatura voluntaria máxima y la voluntaria mínima del individuo. Estos parámetros termo-fisiológicos son utilizados para conocer el desempeño relativo de los organismos en función de la temperatura (Astudillo et al. 2019).

En las últimas décadas la emisión de los gases de efecto invernadero se ha visto incrementada, lo que lleva un gran impacto en el clima del planeta (IPCC, 2007). Como consecuencia, se prevén cambios en las distribuciones geográficas de las especies y ecosistemas, modificaciones en la fenología reproductiva y una mayor frecuencia en la ocurrencia de catástrofes naturales (Mitchell et al. 2004). La actividad humana ha incrementado la emisión de dióxido de carbono un 33 % entre 1958 y 2000 (Mitchell et al. 2004) y se proyecta un incremento de la temperatura media mundial de 1,4 a 5,8 °C en los próximos 100 años (Cuesta-Camacho et al. 2008).

El cambio acelerado en el clima está causando un declive en la biodiversidad mundial (Sinervo et al. 2010). Los modelos de riesgo de extinción indican que a nivel mundial un 39 % de las poblaciones de lagartos podrían desaparecer localmente para el 2070 (Sinervo et al. 2010). Las especies podrían responder de manera distinta a este cambio: en primer lugar, podrían dispersarse a ambientes con mejores condiciones, si cuentan con el tiempo y la habilidad de dispersión. En segundo lugar, los organismos podrían adaptarse al nuevo clima local, si fueran capaces de aclimatarse gracias a su plasticidad evolutiva, conductual y/o fisiológica (Medina et al. 2012). Como tercer escenario, las poblaciones no podrían adaptarse a las nuevas condiciones y/o migrar, por lo tanto se extinguirían. Con este tercer escenario, se podría llegar a un colapso a nivel de especies y en la diversidad de reptiles a nivel mundial (Sinervo et al. 2018). Este modelo de extinción general propuesto por Sinervo et al. (2010) fue realizado a nivel de familias en los cinco continentes, sin embargo el impacto del cambio climático sobre algunas especies de lagartos podría ser sobre o subestimado (Huey et al. 2010, Kearney 2013), de aquí la importancia de evaluar el impacto a nivel especie.

Liolaemus ditadai, conocido localmente como pamperito o chelco salinero, es un lagarto endémico cuya distribución conocida incluye Las Salinas Grandes desde la localidad tipo (en el límite de las provincias de Córdoba y Catamarca) hasta el sur de San José de Las Salinas y una localidad en Salinas de Ambargasta en la provincia de Santiago del Estero (Ceí 1983, Abdala 2007, Ávila et al. 2013, Pelegrin et al. 2020). Si bien no es un lagarto grande, es el mayor del grupo filogenético al que pertenece (*L. anomalus*), alcanzando los 92,6 mm de Longitud Hocico-Cloaca (LHC) (Abdala et al., 2013). Este

lagarto ovíparo ocupa un hábitat salobre, con lluvias escasas (~ 300mm anuales) y extremadamente cálido (20.5 °C anuales pero con máximas absolutas que llegan a los 42 °C) (Ruiz Posse et al. 2007), asociado a la vegetación halófila típica del borde de la planicie salada comúnmente conocida como jumecillo (*Heterostachys ritteriana*) y jume (*Allenrolfea patagonica*) (Cabrera 1996, Pelegrin et al. 2020), que aunque solo alcanzan unos pocos centímetros de altura (30-120 cm), y siendo prácticamente los únicos proveedores de sombra. Cabe resaltar que esta especie es encontrada exclusivamente dentro del área de la salina, no siendo encontrada en áreas transicionales con el bosque chaqueño, donde sí se puede encontrar individuos de *L. darwinii*, *L. chacoensis*, *A. longicauda*, *T. teyou*, entre otras. Poco se sabe sobre la biología de *L. ditadai* siendo la mayor cantidad de datos publicados sobre taxonomía, morfología, coloración y distribución (Ceí 1983, Abdala 2007, Abdala y Juárez Heredia 2013, Ávila et al. 2015, Pelegrin et al. 2020). Realiza su puesta a principios de enero o en febrero (Ceí 1983).

Liolaemus ditadai es una especie categorizada como amenazada por la Asociación Herpetológica Argentina (Abdala et al. 2012) y como *Data Deficient* (DD) por la IUCN (Pelegrin y Abdala 2017). Su categorización como especie amenazada fue justificada por supuestos bajos niveles poblacionales y por posibles impactos negativos del anegamiento de su hábitat en Salinas Grandes (Abdala 2007, Abdala y Juárez Heredia 2013). Las condiciones extremas del ambiente en el que habita esta especie, comparables con las de un desierto, podrían resultar inadecuadas para su supervivencia en escenarios futuros de calentamiento global. Muchas especies de desierto tienen márgenes reducidos por lo que un aumento en la temperatura ambiental podría afectar su adecuación al aumentar las horas de restricción.

Por lo tanto, este trabajo plantea describir aspectos de la ecología térmica de *L. ditadai* y evaluar su riesgo de extinción potencial debido al cambio climático global. Así, los objetivos de este trabajo buscan responder las siguientes preguntas: 1) ¿Cuáles son los mecanismos termorreguladores que utiliza *Liolaemus ditadai*?; 2) ¿Es posible la subsistencia de esta especie ante escenarios futuros de cambio climático?

Objetivo general

- Describir la ecología térmica y estimar el impacto potencial del cambio climático en *Liolaemus ditadai*.

Objetivos particulares

- Describir la temperatura preferida y la temperatura corporal de la especie.
- Definir la tolerancia térmica de la especie en relación al ambiente.
- Valorar la precisión y la eficiencia termorreguladora de la especie y la calidad térmica del hábitat.
- Calcular el cambio de las horas de restricción en escenarios futuros de cambio climático.

Hipótesis

- Rangos de tolerancia térmica altos y con márgenes reducidos de *L. ditadai*, otorgan baja resistencia ante futuros aumentos de la temperatura ambiental debido al cambio climático.

Predicciones

- *Liolaemus ditadai* tendrá rangos de tolerancia térmica altos y con márgenes acotados.
- *Liolaemus ditadai* será preciso y eficiente para termorregular a pesar de la baja calidad térmica del hábitat.
- *Liolaemus ditadai* será vulnerable ante escenarios hipotéticos de cambio climático.

Metodología

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en Argentina, puntualmente en la ecorregión del Chaco, con una extensión de 8400 km². La concentración de sal en el suelo tiene una relación positiva con la vegetación, variando de la costa al centro (Karlin 2016). Está dominada por jumeillo (*Heterostachys ritteriana*) y jume (*Allenrolfea patagonica*) y con presencia de vegetación de la ecorregión del Monte (Brown et al. 2005). El clima es continental, árido con inviernos secos y grandes oscilaciones de temperatura y lluvia. La precipitación oscila entre 490 mm en Córdoba y 300 mm en la zona de Catamarca, con

una evapotranspiración potencial de 950 mm dejando a la zona con un alto déficit hídrico (Ruiz Posse et al. 2007). Por lo observado en campo, *L. ditadai* está asociada al jumecillo y no está activa durante todo el año, pudiéndose encontrar activa desde comienzos de noviembre hasta abril (Sánchez JM, comunicación personal). La temperatura media anual es de 20,5 °C con máximas que llegan a los 50 °C y mínimas de hasta – 6 °C, sin embargo las heladas son de baja frecuencia (Ruiz Posse et al. 2007).

Trabajo de campo

Esta tesina está enmarcada dentro del proyecto de “Herpetofauna de Las Salinas Grandes de Córdoba: Conservación, diversidad y adaptación al medio salino en un contexto de cambio climático”, en marcha desde el año 2015. Esta tesina incluye datos colectados en viajes de campo realizados entre octubre de 2015 y marzo de 2016, noviembre y diciembre de 2017, en noviembre y diciembre de 2019 y en febrero y abril de 2021.

La captura de individuos se realizó con una combinación de trampa cerco-pozo y búsquedas activas. Los sitios muestreados incluyen áreas de salinas en las Salinas Grandes: entre Totoralejos y Lucio V. Mansilla, áreas costeras a la altura de San José de Las Salinas, Las Cañas, Las Toscas, La Batea, Termas del Quicho, Cruce con ruta 38, áreas salinas a la altura de Piedrita Blanca y salinas de Ambargasta en El Tuscal y en el límite entre Santiago del Estero y Córdoba, durante el período de mayor actividad de los lagartos (de 8:00 a 20:00 h).



Figura 1: mapa de la zona de estudio. Imagen obtenida de Google Earth y editada con el programa QGIS.

La búsqueda activa de los organismos se realizó entre las 8:00 y 20:00 h, periodo en el cual se encontró activa a la especie según observaciones del equipo y trabajos previos. La captura de los organismos se llevó a cabo con una caña telescópica terminada en un lazo corredizo o simplemente con la mano. Por otro lado, también se colocaron 25 trampas de caída, cada una consistió en tres lonas plásticas de seis metros de largo y cuarenta centímetros de alto dispuestas en forma de “Y” más cuatro recipientes de plástico de 20 L enterrados, dispuestos uno en el centro y los otros en los extremos, cada trampa se ubicó a una distancia mínima de 30 m (Pelegrin et al. 2017). Las trampas fueron revisadas diariamente antes del mediodía para evitar sobrecalentamiento. La mayor cantidad de datos de *L. ditadai* fue obtenida por medio de la búsqueda activa.

A cada ejemplar de *L. ditadai* capturado por medio de búsqueda activa se le tomó la temperatura corporal (T_b), se midió la temperatura del sustrato (T_s) y la temperatura del aire (T_a) a un centímetro del suelo, los datos fueron tomados con un termómetro digital (CEM DT 610-B $\pm 0,1$ °C). También se registraron datos como el microhabitat para evaluar sus T_e , longitud hocico-cloaca, fecha y hora de la captura y su ubicación por medio de GPS. Solo se utilizaron temperaturas corporales tomadas con un máximo de 20

segundos después de la captura. Todos los ejemplares capturados fueron trasladados al laboratorio para realizarle estudios de fisiología térmica.

Trabajo de laboratorio

Para realizar las pruebas de preferencia térmica (T_{pref}), se diseñó un gradiente térmico construido con una estructura de madera (fibrofácil) de 150 x 100 x 40 cm dividido en ocho carriles, se agregó arena como sustrato. Se colocó solo un individuo por carril para evitar la interacción y algún posible cambio en la conducta (Altamirano-Benavides et al. 2019). El gradiente de temperatura ofrecido fue de 20 a 50 °C, el extremo de mayor temperatura se logró a través del uso de un foco de luz incandescente de 75 W a 10 cm del suelo, en el extremo opuesto se utilizaron packs de hielo colocados a nivel del suelo. La prueba se realizó en el horario de 7:00 a 19:00 h, se los colocó una hora antes en el gradiente para que se acostumbraran y reducir el estrés de los individuos. Se registró la temperatura corporal cada minuto durante dos horas, mediante el uso de una termocupla (OMEGA 5SC-TT-T-36-72) adherida al vientre con cinta médica y conectada a un *datalogger* de ocho canales (OMEGA TC-08). Los cuartiles de 25 y 75 % del rango intercuartílico de *L. ditadai* (T_{p25} y T_{p75}) en el gradiente térmico fueron utilizados como el rango inferior y superior de T_{pref} . Las temperaturas voluntarias fueron las temperaturas elegidas dentro de las más altas y más bajas por *L. ditadai* en el gradiente. A los individuos de prueba, se los hidrató con un paño húmedo y se los dejó descansar en su lugar de cautiverio por dos horas. Concluida las dos horas se procedió a evaluar las temperaturas críticas. Para estimar la temperatura crítica mínima (CT_{min}), se colocó a cada individuo en un recipiente plástico con packs de hielo en su interior y se evaluó la respuesta de enderezamiento, varias veces por minuto (Bauwens et al. 1995). Cuando el animal había perdido el reflejo de enderezamiento, se tomó su temperatura cloacal por medio de un termopar tipo K conectado a un termómetro digital de lectura rápida (Thermocuple thermometers DT-610B). Posteriormente fueron llevados a su recipiente de cautiverio para su recuperación. Al siguiente día se utilizó a los lagartos para realizar los experimentos de temperatura crítica máxima (CT_{max}), se los sometió con una fuente de calor proporcionada por un foco de 85 W y se tomó su temperatura corporal en el momento que perdió el reflejo de enderezamiento. Rápidamente se hidrataron con un paño húmedo y se los colocaron en sus respectivos lugares de cautiverio a temperatura ambiente.

A 16 individuos adultos capturados, se los sometió a pruebas de desempeño locomotor, las mismas no se realizaban el día en que los individuos pasaban por el experimento de temperatura crítica máxima y fue dentro de su rango horario (entre las 10:00 y 19:00 h). Para la prueba se los colocó en un carril de fibrofácil (0,20 m de ancho y 1 m de largo), cerrada en los extremos con marcas al comienzo. Los organismos se calentaron o enfriaron a cada una de las seis temperaturas que abarcaban sus límites térmicos (19, 23, 27, 31, 35, $39 \pm 1,5$ °C). Las pruebas fueron grabadas con una cámara digital SJCAM®7 a una resolución de video 1080 p y 120 fps. El orden de las temperaturas fue elegido al azar para cada individuo, cada uno corrió tres veces consecutivas a la misma temperatura y se les dio un periodo de descanso de por lo menos 2 horas entre temperatura. Cada individuo corrió un máximo de dos temperaturas por día. Solo se consideró la velocidad máxima de las repeticiones en una sección de 30 cm de la pista utilizando el análisis cuadro por cuadro en el software Tracker v5.1.5 (Brown y Cox, 2009). Los individuos fueron estimulados para moverse con una vara. Los lagartos que no corrieron o que su corrida no fue suficiente como para extraer un dato, fueron excluidos del análisis. Para construir la curva de desempeño se utilizó la función *gamma* y los paquetes *ggplot2*, *grid* y *mgcv* R (R Core Team, 2021).

Durante los días de cautiverio, los lagartos fueron mantenidos a temperatura ambiente en recipientes de plástico con tierra, agua y etiquetados, no fueron alimentados. Los ejemplares solo se mantuvieron durante tres días antes de liberarlos en la zona de captura.

Las temperaturas operativas (T_e) fueron monitoreadas continuamente desde agosto de 2019 hasta junio 2021. Se utilizaron ocho modelos operativos de policloruro de vinilo (PVC) conectados a *dataloggers* (Hobo® pro v2) registrando temperaturas cada 30 minutos (ver detalles en Lara-Resendiz et al. 2015). Los modelos de PVC se pintaron de gris 33 % con pintura en aerosol reflectante, cuyo tamaño fue de 10 cm de largo y 2 cm de diámetro. Éstos se colocaron directamente sobre el sustrato y lugares con la cobertura vegetal típica que utiliza *L. ditadai* cercanos a los sitios de captura.

Todos los procedimientos de laboratorio fueron aprobados por el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL) del Instituto de Diversidad y Ecología Animal (IDEA) (acta 14/19).

Análisis de datos y riesgo de extinción

Para asignar una especie a una estrategia termorreguladora (termorregulador o termoconformista), se calculó el índice de eficiencia de la termorregulación (E). Definiéndose $E = 1 - (\text{promedio } d_b / \text{promedio } d_e)$; donde la precisión en la termorregulación (d_b) representa la media del valor absoluto de las diferencias de las T_b de individuos activos en campo con respecto al intervalo T_{pref} y la calidad térmica (d_e) es la diferencia entre T_e y el intervalo T_{pref} . El índice E oscila entre 0 y 1, siendo una especie que no termorregula eficientemente al obtener resultados cercanos a 0 y lo opuesto cercanos a 1 (Hertz et al. 1993). Si T_b o T_e fueron mayores que T_{pref} entonces $d_b = |T_{p25} - T_b|$ y $d_e = |T_{p25} - T_e|$. Si T_b o T_e fueron menores que T_{pref} entonces $d_b = |T_b - T_{p75}|$ y $d_e = |T_e - T_{p75}|$. Cuando T_b o T_e estuvieron dentro del rango intercuartil de T_{pref} , d_b y d_e fueron considerados 0 (Hertz et al. 1993). Las T_b y las T_e fueron consideradas dentro de las horas de actividad de la especie determinadas a campo (H_a).

El modelo ecofisiológico propuesto por Sinervo et al (2010) está integrado por la termofisiología de los lagartos y las temperaturas operativas ambientales, con estos dos factores se evidencia una relación entre la temperatura ambiental y modificación de su nicho térmico. Aquí se parte de la premisa que las horas de actividad de los lagartos se ven restringidas por la temperatura ambiental, es decir, incrementando sus horas de restricción térmica o inactividad forzada (Lara-Resendiz et al. 2015). En este sentido, se requiere conocer la tolerancia térmica del taxón y la calidad térmica del ambiente; combinando estos datos con proyecciones de cambio climático podemos estimar la restricción en la actividad de lagartos a lo largo de su distribución y estimar su riesgo ante el incremento de temperaturas ambientales debidas al cambio climático global (Kirchhof et al. 2017).

El modelo fue creado para el año 2070 bajo un escenario de cambio climático propuesto por el Instituto Max Planck (RCP 8.5, MPI-ESM-LR; CMIP5) en una resolución de 30 arcos de segundo (~ 1 km). El escenario RCP 8.5 un modelo de cambio climático con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero con un incremento de temperatura de $4,8$ °C. Los mapas finales fueron editados con el programa QGIS 3. 10. 12.

Los datos de distribución fueron obtenidos por los muestreos de campo, literatura (Ceí 1983, Abdala y Juárez Heredia 2013, Ávila et al. 2015, Pelegrin et al. 2020) y registros de ciencia ciudadana en *iNaturalist*. Se descartaron los registros con identificación o localidad dudosa. Los datos duplicados fueron filtrados por la función *cleanpoints* del paquete *Mapinguari* dentro del programa R (Caetano et al. 2020). Con

los registros filtrados se construyeron superficies climáticas por medio de la función *EcophysRaster* de *Mapinguari* (Caetano et al. 2020). Se aplicó un margen de proyección de un grado geográfico (~111 km) a los puntos de presencia más extremos para recortar las superficies climáticas y crear las capas ecofisiológicas (horas de actividad, horas de restricción y desempeño). Las capas ecofisiológicas se construyeron integrando fisiología térmica, temperatura máxima del aire, temperatura mínima y precipitación según lo propuesto por Sinervo et al. (2010). Las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas fueron obtenidas de WorldClim versión 2 (<http://www.worldclim.org>) a una resolución espacial de 30 arcos de segundo (~1 km), (Fick y Hijmans 2017).

Para la construcción de las capas ecofisiológicas basadas en las horas de actividad, horas de restricción y desempeño locomotor se utilizó la función *EcophysRaster* del paquete *Mapinguari* (Caetano et al., 2020). Para Ha y Hr, se utilizó el método del Senoide y la información de su rango voluntario de temperatura mínima y máxima. Con las capas ecofisiológicas se creó el modelo de distribución de especies (MDS). Solo los predictores con valores de correlación por debajo de 0.85 ($r < 0.85$) fueron utilizados.

El modelo desarrollado para *L. ditadai* para el escenario presente y futuro (2070 con un RCP 8.5) fue creado por medio del paquete *sdm* del programa R (Naimi y Araujo, 2016). Se utilizaron tres algoritmos para relacionar la distribución: *generalized linear modeling* (GLM), *multivariate adaptive regression splines* (MARS) y *random forest* (RF), con 1000 pseudoausencias generadas al azar. Los modelos con $AUC > 0.8$ y $TSS > 0.6$ se ensamblaron con el método *presence-absence method* (PA).

Resultados

Descripción de temperaturas

Se analizaron los datos de una muestra compuesta por 34 individuos adultos de diferentes tamaños, que en promedio midieron 61,7 cm de LHC. El promedio de las temperaturas corporales fue de $34,5 \pm 1,7$ °C, dos grados centígrados por debajo del promedio de las temperaturas preferidas: $36,7 \pm 2,3$ °C. El rango intercuartílico de las temperaturas preferencia oscilan entre 35,9 y 38,1 °C (intercuartil 25 y intercuartil 75, respectivamente). En los gradientes térmicos, las temperaturas preferidas de *Liolaemus ditadai* oscilan entre 31,8 y 40,0 °C. Las temperaturas críticas mínimas y máximas son:

7,5 ± 1,2 y 45,6 ± 1,5 °C, siendo solo 5 °C mayor que su voluntaria máxima. Los lagartos prefieren temperaturas en gradiente térmico entre los 36 y 39 °C (Fig. 2).

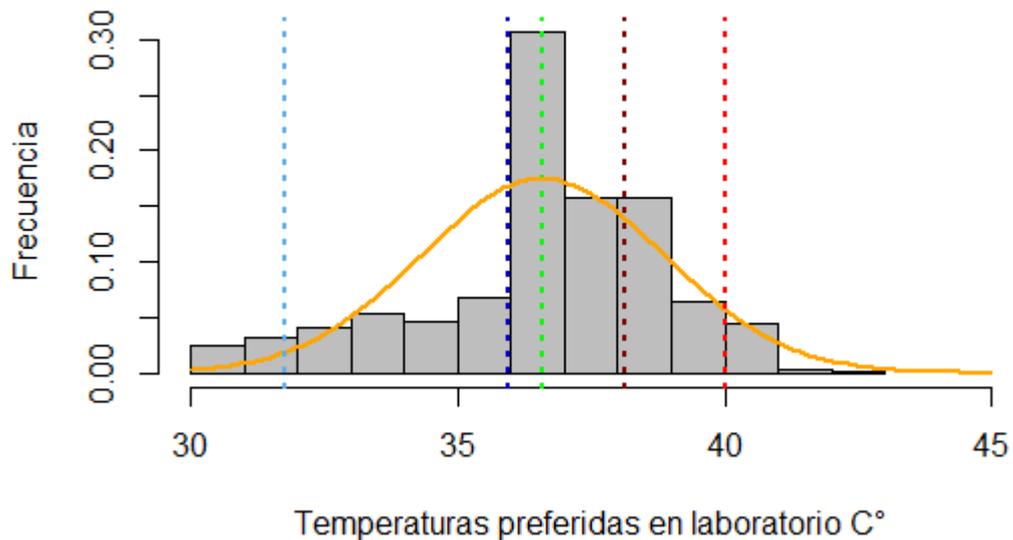


Figura 2: Histograma de temperaturas preferidas en laboratorio *L. ditadai*. En color naranja está representado la curva de distribución normal, en color verde la media, en azul la temperatura preferida mínima (intercuartil 25), en marrón la temperatura preferida máxima (intercuartil 75), en celeste la temperatura voluntaria mínima y en rojo la temperatura voluntaria máxima.

Entre agosto de 2019 y junio de 2021 se registraron 188460 temperaturas operativas (T_e), ya que es importante monitorear la oferta térmica que la especie tiene durante todo el año. La media de las T_e fue de $30,2 \pm 7,5$ °C. El intercuartil 25 fue de 23,7 °C y el intercuartil 75 fue de 37,7 °C. Las observaciones más frecuentes se dieron entre 20 y 40 °C. La temperatura mínima registrada fue de $-6,5 \pm 0,38$ °C y la máxima de $73,1 \pm 0,21$ °C. Las temperaturas menores a los 20 °C y las que superan los 45 °C, fueron las menos frecuentes (Fig. 3)

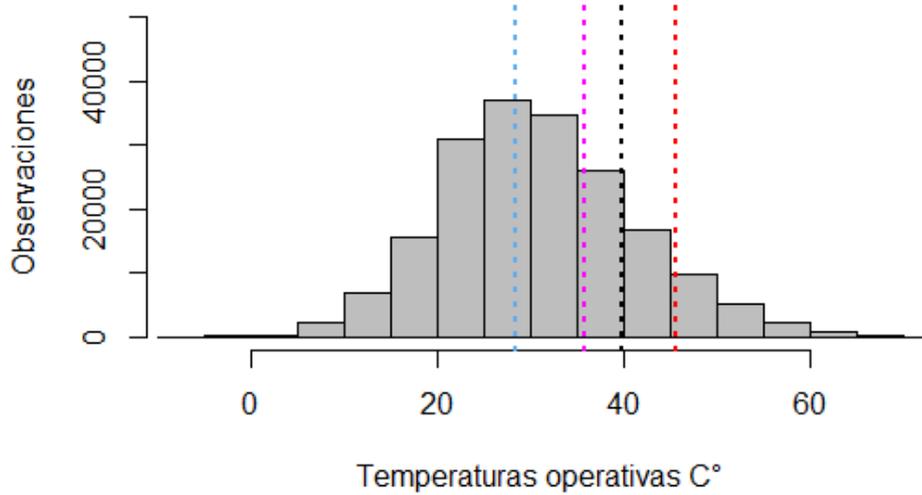


Figura 3: Histograma de temperaturas operativas de las Salinas Grandes. En color celeste se puede ver la VT_{\min} de *L. ditadai*, en magenta la T_{pref} , en negro la VT_{\max} y en rojo la CT_{\max} .

El rango térmico para *L. ditadai* se encuentra dentro de las temperaturas más frecuentes, con T_{pref} (36,7 °C) dentro de los registros más altos. Las T_e que llegan o superan CT_{\max} (45,6 °C), se encuentran dentro de las observaciones menos frecuentes (Fig. 3).

La Eficiencia de la termorregulación (E) se calculó con base en 26 registros de temperaturas corporales (T_b) y 188460 registros de temperaturas operativas (T_e). La precisión de la termorregulación fue de 2,24 °C y la calidad térmica del ambiente fue de 8,9 °C, lo que arroja un valor de eficiencia de la termorregulación de 0,75.

Curva de desempeño locomotor

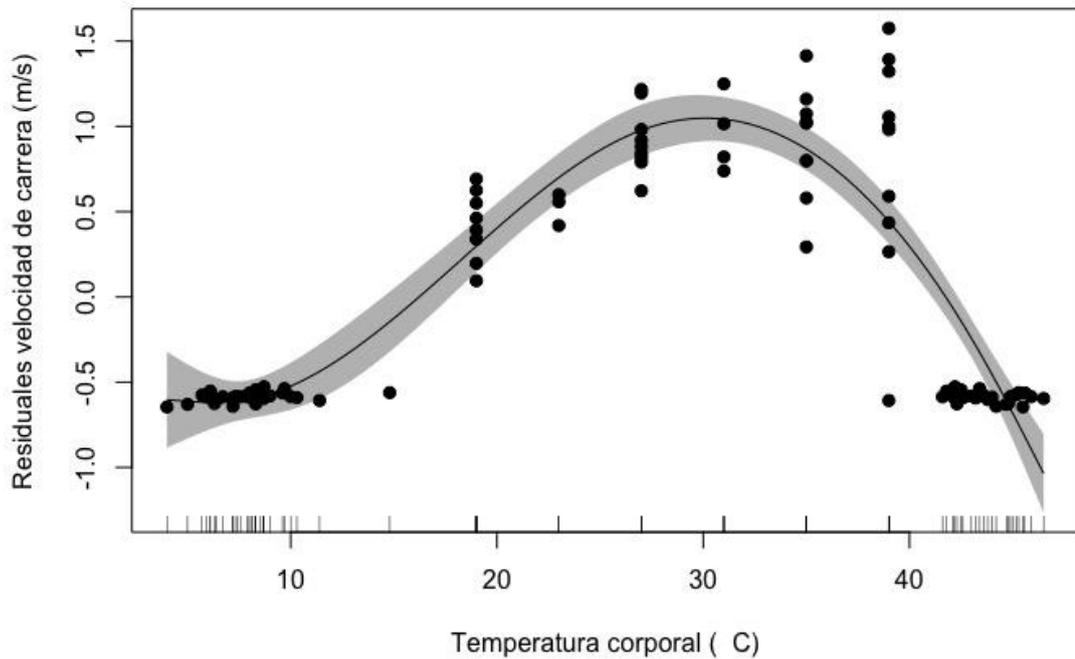


Figura 4: Curva de desempeño para velocidad de corrida a seis diferentes temperaturas (19, 23, 27, 31, 35 y 39 ± 1,5 °C). El gráfico está armado con los valores residuales y anclado en las temperaturas críticas máximas y mínimas.

Liolaemus ditadai tuvo un buen desempeño en los seis tratamientos. Los mayores valores de desempeño locomotor se observaron para los tratamientos 27, 31 y 35 °C. El desempeño de los individuos a 35 °C (el tratamiento más cercano a su T_{pref} : 36,7 °C) muestra una mayor dispersión en los datos, lo mismo ocurre en el tratamiento siguiente (39 °C). *Liolaemus ditadai* tanto a los 35 como a los 39 °C tiene un rendimiento más desparejo, incluso algunos individuos logran superar las velocidades obtenidas a los 31 °C (pico máximo de la curva). Por otra parte, a los 39 °C, se encuentran rendimientos igual de bajos que en el primer tratamiento (19 °C), aunque también se registraron desempeños superiores a los registrados a cualquier otra temperatura. El desempeño no fue afectado por el tamaño de los individuos a ninguna temperatura (Fig. 5).

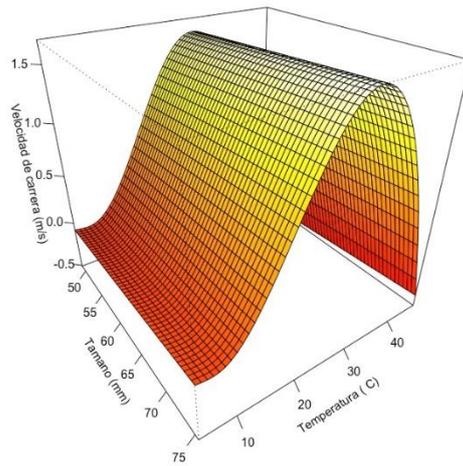


Figura 5: Relación entre el tamaño, la temperatura y la velocidad de carrera de *Liolaemus ditadai*.

Capas ecofisiológicas y modelado

No existieron horas de restricción para el presente ni para el año 2070, por lo que se las excluyó del modelado. El desempeño locomotor de *L. ditadai* no se altera en ninguno de los escenarios utilizados para el año 2070. Los mayores valores de desempeño para el presente y para el año 2070 se corresponden con la zona de donde provienen los registros utilizados (Fig. 6).

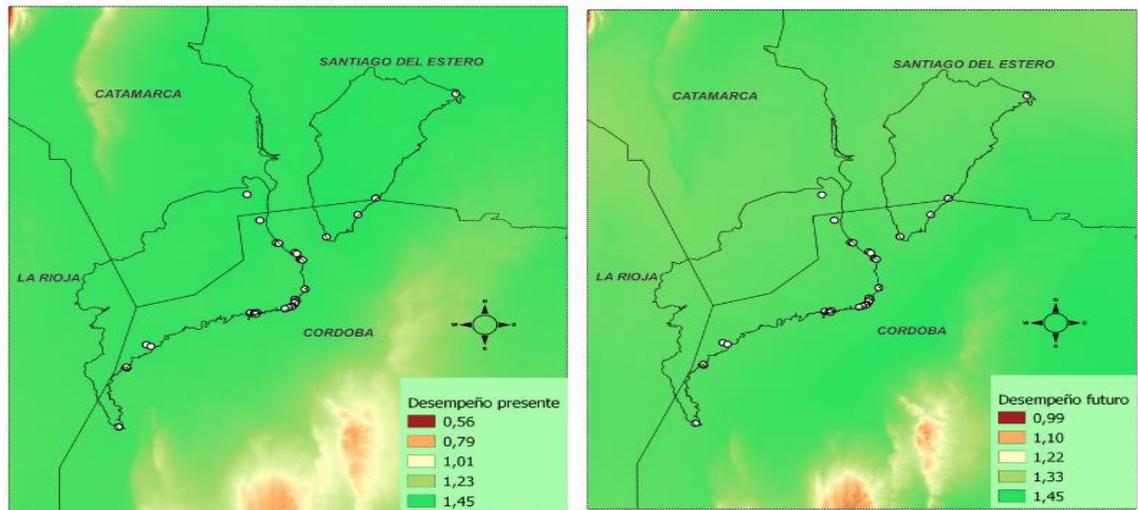


Figura 6: Capas ecofisiológicas para el desempeño presente y para el año 2070 con RCP 8.5. Las imágenes tienen diferente escala.

Las horas de actividad aumentan considerablemente entre el presente y el año 2070.

En el presente hay 1 hora de actividad para la zona con mayores registros, llegando a las 2 horas en el noroeste de las salinas y a 1,5 horas en la parte sur. En Salinas de Ambargasta la actividad es de 2 horas en las zonas con registros (Fig. 7).

Para el año 2070 se proyecta una actividad de 5 horas de duración en toda la región de Salinas Grandes y Salinas de Ambargasta. Así, en la zona con mayores registros hay un incremento de 4 horas en relación al presente. Para la zona noroeste se proyecta un incremento de 3 horas de actividad. En la zona de Salinas de Ambargasta y noroeste de Salinas Grandes se proyecta un incremento de 3 horas su actividad. En el sector sur de Salinas Grandes, se prevé un incremento de 2 horas, lo que llevaría la actividad a 3,5 horas. La zona con mayor cantidad de registros, es la que más beneficiada se ve según este parámetro.

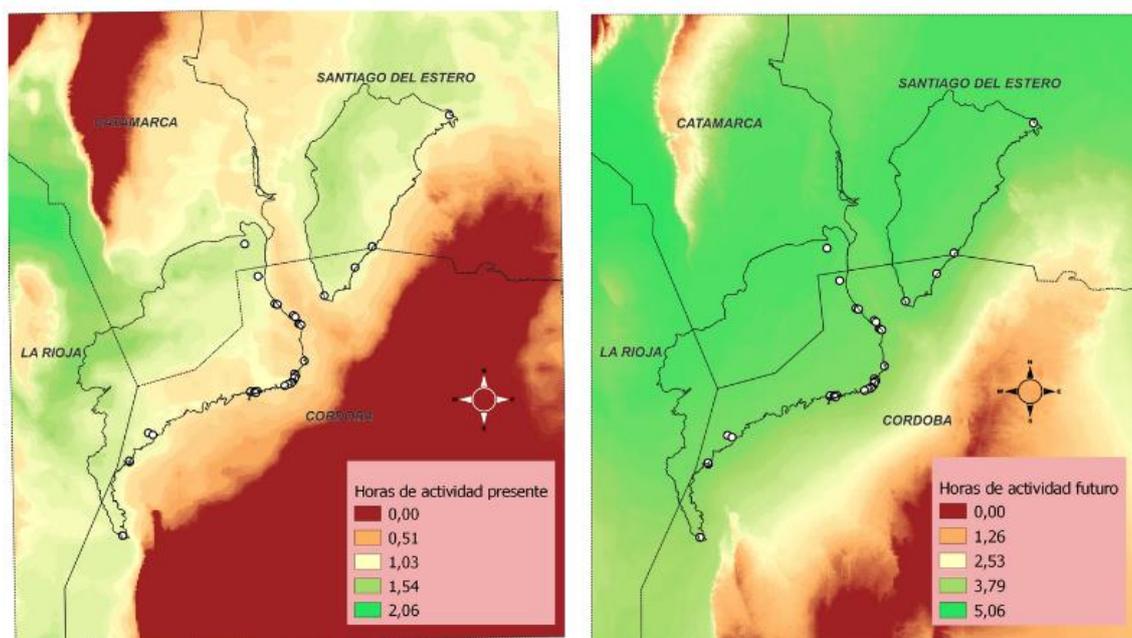


Figura 7: Capa ecofisiológica para las horas de actividad presentes y para el año 2070 RCP 8.5. Las imágenes tienen diferente escala.

Tabla 1: Estadísticos relevantes para cada método usado al modelar.

Método	AUC	COR	TSS	Desvío
Presente				
GLM	0,7	0,1	0,5	0,3
MARS	0,85	0,4	0,6	0,3
RF	0,92	0,6	0,8	0,2
Futuro				
GLM	0,91	0,5	0,7	0,2
MARS	0,92	0,6	0,8	0,2
RF	0,98	0,7	0,9	0,15

El modelo para *L. ditadai*, basado en horas de actividad, desempeño y precipitaciones, indicó que horas de actividad es la variable con mayor preponderancia. Por otro lado, la probabilidad de encontrar la especie en la zona con mayor número de registros es de 0,8 para el presente, a medida que nos dirigimos hacia el sur la probabilidad disminuye, en el registro más sureño la probabilidad es de 0,4 (Fig. 8). Hacia el norte la probabilidad baja a 0,6. En Salinas de Ambargasta la probabilidad de encontrar a *L. ditadai* es de 0,4 a 0,6, el registro más norteño tiene una probabilidad de 0,2, siendo la probabilidad más baja (Fig. 8).

En el año 2070 la probabilidad de encontrar a *L. ditadai* en la zona con mayores registros llega a 1. Hacia el sur la probabilidad baja, siendo de 0,2 a 0 (una disminución del área con respecto al presente). Hacia el norte la probabilidad varía de 1 hasta 0. Esta zona presenta una variabilidad superior, hay un continuo de probabilidad máxima pero disminuye hasta 0, en el presente la probabilidad más baja de la zona noroeste es de 0,4. Salinas de Ambargasta presenta 0,5 de probabilidad en la zona más sureña y el registro más norteño tiene una probabilidad de 0. Comparado con el presente es la zona con mayor disminución en la probabilidad de presencia de *L. ditadai* (Fig.8). Así, los resultados muestran que aumentará la probabilidad de ambientes aptos en la zona central y habrá una disminución de los mismos, hacia el norte y sur.

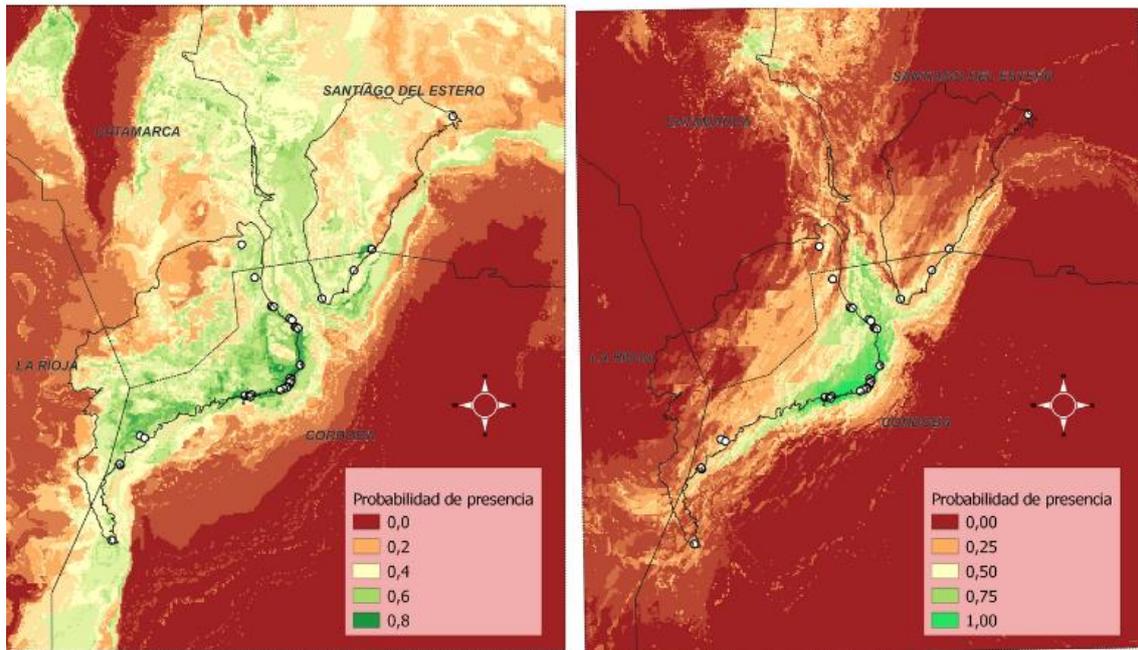


Figura 8: Ensamble del modelado para el presente y para el año 2070 RCP 8.5. Las imágenes tienen diferente escala.

Discusión

Variables e índices de termorregulación

Existen estudios que sugieren al género *Liolaemus*, como poseedor de una fisiología térmica evolutivamente flexible (Astudillo 2018) y muchas especies, como *L. ditadai*, se han adaptado a ambientes extremos. Incluso este género ha podido colonizar ambientes fríos que llevan a los individuos a tener temperaturas corporales bajas, a pesar de que existe evidencia de que la fisiología térmica se conserva en el género (Medina et al. 2009). La temperatura corporal promedio de *L. ditadai* en campo fue de 34,3 °C, mientras que su temperatura preferida en laboratorio fue de 36,7 °C. Esta temperatura es ligeramente mayor a la de *L. chacoensis* (también presente en el monte adyacente al salar), que tiene temperaturas corporales y preferidas de 33 °C (Astudillo 2018). Mayores diferencias se pueden encontrar al comparar las temperaturas de *L. ditadai* con la de especies que habitan en desiertos, como *L. darwini* ($T_b = 36,4$ °C) (Medina et al. 2012), o que habitan en Patagonia, como *L. magellanicus* ($T_b = 27$ °C) (Medina et al. 2009). A

pesar de estas variaciones extremas, la mayoría de los *Liolaemus* (incluso *L. ditadai*) tienen temperaturas corporales entre 34 y 36 °C (Medina et al. 2009). Así, aunque en general se conserva la fisiología térmica dentro del género, la temperatura corporal varía según la región que habitan, dependiendo de las oportunidades que tengan de termorregular en campo y la historia de vida de la especie. Incluso hay estudios que demuestran que la temperatura corporal varía de acuerdo a gradientes ecológicos relacionados con la temperatura ambiental (Rodríguez-Serrano et al. 2009).

Liolaemus ditadai puede ser considerada una especie microendémica debido a la marcada especificidad del hábitat y distribución geográfica restringida, por lo que sería de esperar que sus requerimientos térmicos sean específicos y adaptados al tipo de ambiente en el que vive, con alta radiación solar, poca disponibilidad de refugios y baja disponibilidad de agua. Por otro lado, especies como *L. chacoensis* son típicos de hábitats boscosos, con mayor cobertura vegetal y menores temperaturas, lo que explica la mayor temperatura corporal en *L. ditadai* y de *L. darwini*, habitante del desierto del Monte y también encontrado en pleno salar.

La temperatura crítica máxima de *L. ditadai* fue 45,6 °C, coincidente con la CT_{max} de especies que habitan desiertos extremos como *Dipsosaurus dorsalis* ($CT_{max} \sim 47$ °C y temperatura letal de 50 °C) considerada termófila (Lara-Resendiz et al. 2019). Otras especies del género *Liolaemus*, como *L. cuyumhue*, pueden estar activas a la hora de mayor temperatura, cuando otras especies se ocultan (Brizio et al. 2021). De esta forma, *L. ditadai* puede tolerar mayor cantidad de horas, incluso cuando la temperatura supera su T_{pref} .

Los iguánidos tienen amplios rangos de temperatura voluntarias (Astudillo 2018). Por ejemplo, los rangos de temperatura voluntaria de *L. chacoensis* van de 19,1 a 36,2 °C, mientras que *L. ditadai*, presenta un intervalo más acotado pero superior (31,8 a 40 °C). Esta especie habita exclusivamente el sistema de Salinas Grandes y Salinas de Ambargasta, un ambiente que en el verano es muy caluroso, además está activo durante la época cálida del año. A pesar de esto, *Liolaemus ditadai* no se distribuye en un rango amplio de lugares, ya que su principal hábitat está limitado al margen del salar y la presencia de jume, lo cual reduce la disponibilidad y variabilidad de ambientes térmicos (suelo salino desnudo o suelo salino con jume), a diferencia de *L. chacoensis* quien es capaz de vivir en hábitats más variados (Pelegri y Bucher 2012).

El histograma de T_e (Figura 3) muestra que los estadísticos más relevantes de la especie están sesgados hacia temperaturas mayores. La media de las T_e es 30,2 °C, la T_b

media de es de 34 °C y su T_{pref} es 36,7 °C. La diferencia del rango de temperaturas preferidas en relación a las operativas es de 8,9 °C, esto representa cuánto se aparta la oferta térmica (d_e) de la temperatura preferida por la especie. Un d_e con valores cercanos a 0 indica un ambiente ideal, por lo cual, con este resultado estamos hablando de un ambiente térmico malo (Huey et al., 2003). Es un ambiente extremo, que no ofrece buenas oportunidades para termorregular. En cuanto al índice de termorregulación (E), la especie es eficiente para termorregular ($E = 0,75$). Por un lado, tiene un d_b de 2,24 °C y una mala calidad térmica del hábitat, por lo tanto tiene un deficit que compensar y es importante que sea preciso para termorregular.

Liolaemus ditadai es un termorregulador activo ($E > 0,5$), aunque moderado. Al ser una especie que habita una zona comparable con un desierto es importante destacar que alcanza temperaturas altas, y es capaz de regularlas cuando estas bajan. El género *Liolaemus* presenta variedad en cuanto al modo de termorregular. Existen especies termoconformistas (como en la Patagonia) y otras que son termorreguladores activos (como en la Puna). Por otra parte, *L. darwini*, quien ocupa un ambiente muy similar, comparte esta estrategia de termorregulación.

El desempeño locomotor de una especie es muy importante en términos de adecuación biológica (Astudillo, 2018). Los gráficos de desempeño muestran que la especie tiene desempeño alto en todos los tratamientos térmicos. Esto podría sugerir que es capaz de adaptarse a los nuevos escenarios de cambios de temperatura según las proyecciones de cambio climático. Sin embargo, no hay que olvidar que por la especificidad de su hábitat y su relación tan marcada con el jume y jumecillo (*Allenrolfea patagónica* y *Heterostachys ritteriana*), esta lagartija no podría migrar fuera de los márgenes de las salinas (otro de los escenarios planteados por Sinervo et al., 2010). *Liolaemus ditadai* sigue una curva de desempeño común a todos los lagartos (Hertz et al. 1982), en donde superando su T_{pref} se ve una disminución del rendimiento. En este caso puntual, no es tan abrupta como para *L. chacoensis*, que tiene una baja marcada una vez superada su T_{pref} y sus desempeños se vieron mejor con temperaturas más bajas (Astudillo 2018). En el caso de *L. ditadai*, las temperaturas más bajas fueron las que marcaron un menor desempeño. Este resultado es lógico si tenemos en cuenta que la época de actividad de *L. ditadai* coincide con la época más cálida de las Salinas Grandes, con temperaturas de substrato que pueden llegar a los 70 °C (temperatura registrada por nuestros *dataloggers* de temperatura).

En este estudio el desempeño motriz se estimó por medio de carreras cortas, cuyo significado ecológico se relaciona más con la respuesta de huida. La distancia que se utilizó fue de 0,75 m que es la distancia frecuente entre jumes, teniendo en cuenta que *L. ditadai* escapa de un jume a otro. Podríamos plantearnos que si bien los desempeños a temperaturas cercanas a su crítica máxima son altas, ¿podría sostener ese resultado en distancias largas? En este sentido, la evaluación del desempeño a largas distancias (como una medida de resistencia), es un posible factor a estudiar a futuro para responder esta incógnita.

Evaluación del riesgo de extinción

Sólo con parámetros térmicos, podríamos decir que el incremento de la temperatura (aún en el escenario más extremo) favorecería a *L. ditadai* en la zona de Salinas Grandes. Incluso las horas de actividad se incrementarían en cualquier parte de su distribución, no existiendo horas de restricción para la especie, idea clave para este análisis. En la zona central y norte de Salinas Grandes, el aumento de la temperatura ambiental no sólo no afectaría negativamente a *L. ditadai*, sino que lo podría favorecer. En la zona sur de las Salinas Grandes, la probabilidad de presencia es baja, aún en el presente, probablemente debido a la falta de ambientes salinos continuos, que en la región se presentan como parches de salar con presencia de jumes. Hay que tener en cuenta que el mayor esfuerzo de muestre fue en la zona central de Salinas Grandes, por lo que en los demás puntos de distribución, los resultados pueden estar sesgados por la menor cantidad de datos ingresados en el modelo más que una retracción real de las poblaciones.

Liolaemus es un género que evidencia tener una gran tolerancia a distintos rangos de temperatura (Ibargüengoytía et al 2021). *Liolaemus ditadai*, como se mencionó en párrafos anteriores, ha podido tolerar temperaturas altas y sus mayores desempeños fueron con temperaturas altas. Potencialmente es un género que podría adaptarse a cambios climáticos, ya que se conservan ciertos parámetros térmicos como es el caso de *L. magellanicus* o *L. bibronii*, en zonas frías, o *L. cuyumhue* en zonas desérticas (Medina et al 2009; Brizio et al 2021). El hecho de que la especie está adaptada a una zona catalogada como extrema, con temperaturas elevadas durante gran parte del día, altos niveles de salinidad y baja disponibilidad de refugio/sombra, llevó a pensar que *L. ditadai* se vería afectado por el aumento de temperaturas, pero los resultados ya mencionados en cuanto a sus horas de restricción, desempeño locomotor y horas de actividad, indican que el aumento en la temperatura no lo perjudicara e incluso lo favoreciera. Algunos autores

proponen que el cambio climático global podría favorecer a las especies de reptiles termófilas y especies que habitan zonas térmicamente heterogéneas (ambientes desérticos) o, por lo menos, serían menos vulnerables (Deutsch et al. 2008, Lara-Resendiz et al. 2019). *Liolaemus ditadai* habita únicamente en el margen de las Salinas, una zona comparable con un desierto (Fig. 3). Estudios sobre el efecto del cambio climático sobre especies como *D. dorsalis*, termófilas y de amplia distribución que habitan principalmente en desiertos, han encontrado resultados positivos como efecto del calentamiento, incluso con una ampliación potencial del hábitat adecuado para la especie (Lara-Resendiz et al. 2019).

Con base en lo anterior, podemos ver un patrón similar en la zona más central de Salinas Grandes, pero en Salinas de Ambargasta hay resultados negativos en cuanto al modelado. La zona se torna con baja probabilidad de presencia de *L. ditadai*, incluso con valores nulos mientras nos dirigimos al norte. Podríamos estar ante un escenario de restricción para la *L. ditadai*, habiendo zonas donde en la actualidad habita y en el futuro se vería desfavorecido. De todos modos, la fisonomía del área es altamente heterogénea y muy poco estudiada, por lo que ameritaría una búsqueda más exhaustiva, con el fin de hacer una evaluación más detallada de la distribución de *L. ditadai* a lo largo de las Salinas Grandes y Salinas de Ambargasta. Además la cantidad de datos de distribución ingresados para la zona, son mucho menores lo que puede generar un sesgo en los resultados.

En esta tesina, solo se evaluaron factores térmicos pero *L. ditadai* es totalmente dependiente del salar y el jume. Los parámetros analizados dieron un resultado positivo en la zona de Salinas Grandes (no así en Salinas de Ambargasta), pero no se tomó en cuenta la vegetación. Como se mencionó arriba, *L. ditadai* está fuertemente asociado al jume, un factor interesante a tener en cuenta sería evaluar si las especies vegetales pueden ser afectadas por cambio de las condiciones climáticas. Sinervo et al. (2010) propone que el efecto de mayor impacto para las lagartijas es debido a las horas de restricción. Kearney (2013) propone que el mayor impacto será debido a la falta de sombra, por lo que la cobertura vegetal se transforma en factor fundamental, aún más para *L. ditadai* que no tiene horas de restricción.

Como se mencionó en la introducción, *L. ditadai* se encuentra categorizada como amenazada según la Asociación Herpetológica Argentina (Abdala et al. 2012). Esta clasificación se da cuando la especie tiene posibilidades de pasar a estar en peligro de extinción, en este caso debido a las inundaciones y la pequeña distribución conocida. Con

los datos recolectados vimos que la distribución *L. ditadai* es mucho más amplia de lo que se creía. Al habitar un terreno inundable se creía que los individuos tenían riesgo de muerte, se pudo observar que los primeros neonatos aparecieron luego de inundaciones, incluso cuando las trampas estaban tapadas por el agua. De esta manera los factores que ponían a la especie en la categoría de Amenazada, se anulan.

Conclusión

El objetivo general de esta tesina fue dar una aproximación a la ecología térmica de *L. ditadai* y estimar su vulnerabilidad ante el cambio climático. Esta especie llamativa por su endemismo y por su calificación como especie crítica según la Asociación Herpetológica Argentina, podemos afirmar que es una especie termorreguladora activa, precisa y eficiente en la termorregulación ($d_b = 2,24$ °C, $E = 0,75$) a pesar de la mala calidad térmica del hábitat ($d_e = 8,9$).

Con respecto a la vulnerabilidad frente al cambio climático, a pesar de que se evaluó con el escenario más pesimista, se puede afirmar que no habrá horas de restricción en su periodo de actividad. Además, con el modelado que combina diferentes parámetros basado en ensambles, se puede concluir que las poblaciones de Salinas Grandes no son vulnerables ante el cambio climático, incluso serán potencialmente favorecidas. Pero las poblaciones de Salinas de Ambargasta, serán potencialmente perjudicadas por estos cambios de temperatura.

Por lo que la hipótesis planteada: “Rangos de tolerancia térmica altos y con márgenes reducidos de *L. ditadai*, otorgan baja resistencia ante futuros aumentos de la temperatura ambiental debido al cambio climático” se rechaza. Ya que las predicciones planteadas no se confirman: *L. ditadai*, posee rangos de tolerancia térmica altos y amplios, pasando de 31,8 °C hasta 40 °C. Y los modelos muestran que el hábitat actual seguirá siendo habitable, incluso en el escenario más extremo del 2070, sin mencionar que las horas de restricción son inexistentes en ambos escenarios.

Literatura citada

- Abdala, C. 2007a. Estatus de *Liolaemus ditadai* Cei 1983, Iguania (Liolaemidae) y ampliación de su rango de distribución. Cuadernos de herpetología **21**:59-63.
- Abdala, C. 2007b. Estatus de *Liolaemus ditadai*, cei 1983 (Iguania: lilaemidae) y aplicación de su rango de distribución. Cuadernos de herpetología **21**:59-63.
- Abdala, C., J. Acosta, J. Acosta, B. Álvarez, F. Arias, L. Ávila, M. Blanco, M. Bonino, J. Boretto, G. Brancatelli, M. F. Breitman, M. Cabrera, S. Cairo, V. Corbalán, A. Hernando, N. Ibargüengoytía, F. Kacoliris, A. Laspiur, R. Montero, M. Morando, N. Pelegrin, C. Fulvio Pérez, S. Quinteros, R. Semhan, M. E. Tedesco, L. Vega, and S. Zalba. 2012. Categorización del estado de conservación de las lagartijas y anfisbaenas de la Republica Argentina. Cuadernos de herpetología **26**:215-302.
- Abdala, C., and V. Juárez Heredia. 2013. Taxonomía y filogenia de un grupo de lagartos amenazados: el grupo de *Liolaemus anomalus* (Iguania: liolaemidae). Cuadernos de herpetología **27**:109-153.
- Adolph, S., and W. Porter. 1993. Temperature, activity, and lizard life histories. The american naturalist **142**:273-295.
- Altamirano-Benavides, M., S. Domínguez-Guerrero, F. Muñoz-Nolasco, D. Arenas-Moreno, R. Santos-Bibiano, R. Gómez-Tejo Pérez, L. Lozano-Aguilar, N. Fierro-Estrada, F. Gandarilla-Aizpuro, G. Woolrich-Piña, N. Martinez-Méndez, R. Lara-Resendiz, and F. Mendez de la Cruz. 2019. Ecología térmica y riesgo de extinción ante el cambio climático de *Gonatodes concinnatus* (Squamata: saphaerodactylidae), una lagartija endémica de la Amazonía occidental. Revista mexicana de biodiversidad **90**:1-12.
- Angilletta, M. J., T. Hill, and M. A. Robson. 2002. Is physiological performance optimized by thermoregulatory behavior?: a case study of the eastern fence lizard, *Sceloporus undulatus*. Journal of Thermal Biology **27**:199-204.

- Astudillo, G. 2018. Evaluación de la flexibilidad en la fisiología térmica y desempeño locomotor en *Liolaemus chacoensis* (Squamata: Liolaemidae) en el chaco de San Juan. *in* U. N. d. Cuyo, editor.
- Astudillo, G., M. Córdoba, R. Gómez Alés, J. C. Acosta, and H. J. Villavicencio. 2019. Termorregulación de la lagartija *Liolaemus chacoensis* (Squamata: Liolaemidae) durante su ciclo reproductivo, en el Chaco Occidental, Argentina. *Revista de Biological Tropical* **67**:1505-1519.
- Ávila, L., C. Fulvio Pérez, and P. Cacciali. 2015. New record of *Liolaemus ditadai* Cei, 1983 (Squamata, Liolaemidae) from Santiago del Estero province, Argentina. *Check list* **11**:1-4.
- Ávila, L., L. Martínez, and M. Morando. 2013. Checklist of lizards and amphisbaenians of Argentina: an update. *Zootaxa* **3616**:201-238.
- Bauwens, D., T. Garland, A. Castilla, and R. Van Damme. 1995. Evolution of sprint speed in lacertid lizards: morphological, physiological and behavioral covariation. *Evolution* **49**:848-863.
- Brizio, M.V., Cabezas-Cartes, F., Fernández, J.B., Gómez Alés, R., Avila, L.J., 2021. Vulnerability to global warming of the critically endangered Añelo Sand Dunes Lizard (*Liolaemus cuyumhue*) from the Monte Desert, Patagonia Argentina. *Can. J. Zool.*, **99**: 773-782.
- Brown, D. y Cox, A. J. (2009). Innovative Uses of Video Analysis. *The Physics Teacher*, **47**, 145-150.
- Brown, A., U. Ortiz Martinez, M. Arcebi, and J. Corcuera. 2005. La situación ambiental argentina. Fundación vida silvestre argentina, Buenos Aires, Argentina.
- Cabrera, M. R. 1996. Lista y distribución geográfica de saurios, anfisbenas y tortugas (Amniota, Reptilia) de la provincia de Córdoba. Pp. 215-238, En: **Biodiversidad de la Provincia de Córdoba. Fauna. Vol. I.** (I. E. di Tada y E. H. Bucher, eds.). ISBN 950-665-026-8. Imprenta y Publicaciones Universidad Nacional de Río Cuarto.

- Caetano, G., J. Santos, L. Godinho, V. Cavalcante, L. Diele-Viegas, P. Campelo, L. Martins, A. Oliveira, J. Alvarenga, H. Wiederhecker, V. Novaes e Silva, F. Werneck, D. Miles, G. Colli, and B. Sinervo. 2020. Time of activity is a better predictor of the distribution of a tropical lizard than pure environmental temperature. *Oikos* **129**:953-963.
- Cei, J. 1983. Una nueva subespecie de *Liolaemus anomalus* de la región árida halofila de Salinas Grandes (Provincia de Córdoba, Argentina). *Deserta* **7**:172-178.
- Cruz, F. B., L. A. Fitzgerald, R. E. Espinoza, and J. A. Schulte. 2005. The importance of phylogenetic scale in tests of Bergmann's and Rapoport's rules: lessons from a clade of South American lizards *Evolutionary Biology* **18**:1559-1574.
- Cuesta-Camacho, F., M. Peralvo, and A. Ganzenmüller. 2008. Posible efecto del calentamiento global sobre el nicho climático de algunas especies en los Andes Tropicales. *EcoCiencia* **23**:15-38.
- Deutsch, C., J. Tewksbury, R. Huey, K. Sheldon, C. Ghalambor, D. Haak, and P. Martin. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude *PNAS* **105**:6668-6672.
- Fick, S., and R. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* **37**:4302-4315.
- Hertz, P., R. Huey, and E. Nevo. 1982. Homage to Santa Anita: Thermal sensitivity of sprint speed in agamid lizards *Evolution* **37**:1075-1084.
- Hertz, P., R. Huey, and R. D. Stevenson. 1993. Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question. *The American Naturalist* **142**:796-818.
- Huey, R., P. Hertz and B. Sinervo. 2003. Behavioral drive versus behavioral inertia in evolution: a null model approach. *American Naturalist* **161**:357-366.

- Huey, R., J. Losos, and C. Moritz. 2010. Are lizards toast? *Science* **328**:832-833.
- Huey, R., and M. Slatkin. 1976. *The quarterly review of biology*. The university of Chicago Press **51**:363-384.
- Ibargüengoytía, N.R., Medina, M., Laspiur, A., Qu, Y.-F., Peralta, C.A.R., Sinervo, B., Miles, D.B., 2021. Looking at the past to infer into the future: Thermal traits track environmental change in Liolaemidae*. *Evolution* **75**: 2348-2370.
- IPCC. *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge University Press.
- Karlin, M. S. 2016. Ethnoecology, Ecosymbiosis and Integral Ecology in Salinas Grandes (Argentina). *Revista Etnobiología* **14**:24-38.
- Kearney, R.M., 2013. Activity restriction and the mechanistic basis for extinctions under climate warming. *Ecology Letters* **16**: 1470-1479.
- Kirchhof, S., R. Hetem, H. Lease, D. Miles, D. Mitchell, J. Müller, M.-O. Rödel, B. Sinervo, T. Wassenaar, and I. Murray. 2017. Thermoregulatory behavior and high thermal preference buffer impact of climate change in a Namib Desert lizard. *Ecosphere* **8**:1-22.
- Lara-Resendiz, R., D. Arenas-Moreno, E. Béltran-Sánchez, W. Gramajo, V.-M. Javier, W. Sherbrooke, and F. Méndez de la Cruz. 2015a. Selected body temperature of nine species of Mexican horned lizards (*Phrynosoma*) *Revista mexicana de biodiversidad* **86**:275-278.
- Lara-Resendiz, R., H. Gadsden, P. Rosen, B. Sinervo, and F. Méndez de la Cruz. 2015b. Thermoregulation of two sympatric species of horned lizards in the Chihuahuan Desert and their local extinction risk. *Journal of Thermal Biology* **48**:1-10.
- Lara-Resendiz, R., P. Galina-Tessaro, A. G. Pérez-Delgadillo, V.-V. Jorge, and F. Méndez de la Cruz. 2019. Efectos del cambio climático en una especie de lagartija termófila de

amplia distribución (*Dipsosaurus dorsalis*): un enfoque ecofisiológico. Revista mexicana de biodiversidad **90**:1-11.

Manjarres, J. 1994. Limitación térmica de la actividad en algunos anuros y reptiles como una estrategia ecológica. Ciencia ergo sum **1**:78-81.

Martínez-Gómez, M., R. A. Lucio, and R.-A. Jorge. 2014. Biología del Comportamiento: Aportaciones desde la Fisiología 1edición, México.

Medina, M., J. Guitierrez, A. Scolaro, and N. Ibarzüengoytía. 2009. Thermal responses to environmental constraints in two populations of the oviparous lizard *Liolaemus bibronii* in Patagonia, Argentina. Journal of Thermal Biology **34**:32-40.

Medina, M., A. Scolaro, F. Méndez de la Cruz, B. Sinervo, D. Miles, and N. Ibarzüengoytía. 2012. Thermal biology of genus *Liolaemus*: A phylogenetic approach reveals advantages of the genus to survive climate change Journal of Thermal Biology **37**:579-586.

Miles, D. 1994. Population Differentiation in Locomotor Performance and the Potential Response of a Terrestrial Organism to Global Environmental Change. American Zoologist **34**:422-436.

Mitchell, T. D., T. R. Carter, P. D. Jones, M. Hulme, and M. New. 2004. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Working Paper:1-30.

Naimi, B., Araújo, M.B., 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. Ecography: **39**, 368-375.

Pelegrin, N., Bucher, E.H., 2012. Effects of habitat degradation on the lizard assemblage in the Arid Chaco, central Argentina. J. Arid Environ. **79**, 13-19.

Pelegrin, N., and E. H. Bucher. 2015. Activity and reproductive patterns of lizards in the Chaco of Argentina. Journal of Natural History **49**:2-16.

- Pelegrin, N., R. Lara-Resendiz, and J. Sanchez. 2020. *Liolaemus ditadai* extreme microhabitat. *Herpetological Review* **51**:126-127.
- Pelegrin, N., O. D. Mesquita, P. Albinati, F. L. S. Caldas, L. B. d. Q. Calvalcani, D. A. Falico, J. Y. Galdino, D. B. Tucker, A. A. Garda, and 2017. Extreme specialization to rocky habitats in *Tropidurus* lizards from Brazil: Trade-offs between a fitted ecomorph and autoecology in a harsh environment. *Austral Ecology* **42**:677-689.
- QGIS Development Team. (2021). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team. 2021, R: a Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.Rproject.org>.
- Rodríguez-Serrano, E., C. A. Navas, and F. Bozinovic. 2009. The comparative field body temperature among *Liolaemus* lizards: Testing the static and the labile hypotheses. *Journal of Thermal Biology* **34**:306-309.
- Ruiz Posse, E., U. O. Karlin, E. Buffa, M. Karlin, C. Gai Levra, and G. Castro. 2007. Ambiente de las Salinas Grandes Catamarca, Argentina. *Multequina* **16**:123-137.
- Sinervo, B., F. Méndez de la Cruz, D. Miles, H. Benoit, E. Bastiaans, M. Villagrán-Santa Cruz, R. Lara-Resendiz, N. Martínez-Méndez, M. L. Calderón-Espinosa, R. Meza-Lázaro, H. Gadsden, L. Avila, M. Morando, I. De la Riva, P. Sepulveda, C. Durarte Rocha, N. Ibargiengoytía, C. Aguila Puntriano, M. Massot, V. Lepetz, T. Oksanen, D. Chapple, A. Bauer, W. Branch, J. Clobert, and J. Sites. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* **328**:894-899.
- Sinervo, B., D. Miles, Y. Wu, F. Méndez de la Cruz, S. Kirchhof, and Y. Qi. 2018. Climate change, thermal niches, extinction risk and maternal-effect rescue of toad-headed lizards, *Phrynocephalus*, in thermal extremes of the Arabian Peninsula to the Qinghai-Tibetan Plateaus. *Integrative Zoology* **13**:450-470.

