



Universidad de Concepción

Campus Los Ángeles

Escuela de Educación

Ecofisiología térmica y vulnerabilidad al cambio climático de una población de *Pleurodema bufonina* Bell, 1843 perteneciente al sector Los Barros, Región del Biobío.

Seminarista : Camila Jesús Muñoz Retamal

Profesora Guía : Nicza Fernanda Alveal Riquelme

Los Ángeles, 2023

Índice

Resumen:	4
Abstract	5
Planteamiento y Justificación de la investigación	6
Pregunta de Investigación:	10
Objeto de Estudio:	10
Objetivo General:	10
Objetivos Específicos:	10
Hipótesis	10
Marco Referencial	11
Efecto del calentamiento global	11
Rasgos ecofisiológicos y ectotermos.....	12
Nociones generales sobre anfibios	14
Temperatura, humedad en los anfibios.....	15
Rendimiento locomotor.....	17
<i>Pleurodema Bufonina</i> como modelo de estudio.....	18
Diseño Metodológico	21
Enfoque de la Investigación	21
Definición y selección de la muestra.....	21
Técnicas de recolección de información	23
Área de estudio:	23
Obtención de datos de campo:	24
Cautiverio y aclimatación:	24
Parámetros térmicos a evaluar:	25
Resultados	27
Termorregulación en terreno	27

Tolerancia Térmica	28
Rendimiento Locomotor	30
Tolerancia al calentamiento y Margen seguridad térmica.....	32
Discusión	33
Conclusiones	36
Alcances de la investigación	37
Bibliografía	38
Anexo	55
Anexo 1. Tabla de medida resumen de valores a diferente aclimatación...	55

Resumen:

Diversas investigaciones han reconocido como uno de los principales problemas planetarios al calentamiento global. Este afecta significativamente a la biodiversidad, especialmente a animales ectotérmicos por su marcada dependencia de la temperatura ambiental (T_a). Investigaciones recientes predicen aumentos en las temperaturas y disminuciones en las precipitaciones en las zonas cordilleranas y valles centrales de nuestro país para finales de siglo. En este contexto, las especies de anfibios en entornos montañosos se ven enfrentadas a un fuerte estrés fisiológico debido a la variabilidad térmica, haciéndolas más vulnerables al cambio climático. *Pleurodema bufonina* que habita la zona cordillera en la región del Biobío, se presenta como un indicador ideal para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático debido a sus rasgos ecofisiológicos.

Para realizar el presente estudio se realizaron salidas a terreno a la localidad de Los Barros, donde se registró el comportamiento en campo y posteriormente los animales capturados fueron sometidos en laboratorio a dos tratamientos de aclimatación (10°C y 20°C) para determinar los límites de tolerancia térmica (CT_{\min} y CT_{\max}), rendimiento locomotor, margen de seguridad térmica y tolerancia al calentamiento.

Los resultados indican que *P. bufonina* es tigmotérmica, tolera un amplio rango de temperaturas (0 hasta 37°C aproximadamente), con una temperatura óptima de 25°C . Posee además un amplio margen de seguridad térmica y tolerancia al calentamiento; sin que se evidencie un efecto significativo de estos parámetros frente a las temperaturas de aclimatación, lo que indica que no es una población muy plástica, aspecto que podría afectar en su tolerancia a los cambios ambientales.

Palabras Claves: *Pleurodema bufonina*, Ectotermos, Cambio climático, Conducta térmica.

Abstract

Several studies have recognized global warming as one of the main planetary problems. This significantly affects biodiversity, especially ectothermic animals due to their marked dependence on environmental temperature (T_a). Recent research predicts increases in temperatures and decreases in precipitation in the mountainous areas and central valleys of our country by the end of the century. In this context, amphibian species in mountainous environments are facing strong physiological stress due to thermal variability, making them more vulnerable to climate change. *Pleurodema bufonina*, which inhabits the mountainous zone in the Biobio region, is presented as an ideal indicator to evaluate vulnerability to climate change due to its ecophysiological traits.

For the present study, field trips were made to Los Barros, where field behavior was recorded and later the captured animals were subjected in the laboratory to two acclimatization treatments (10°C and 20°C) to determine the limits of thermal tolerance (CT_{\min} and CT_{\max}), locomotor performance, thermal safety margin and tolerance to heating.

The results indicate that *P. bufonina* is tigmothermic, tolerating a wide range of temperatures (0 to approximately 37°C), with an optimum temperature of 25°C . It also has a wide thermal safety margin. It also has a wide thermal safety margin and tolerance to warming, with no significant effect of these parameters on acclimatization temperatures, which indicates that it is not a very plastic population, an aspect that could affect its tolerance to environmental changes.

Key words: *Pleurodema bufonina*, Ectotherms, Climate change, Thermal behavior.

Planteamiento y Justificación de la investigación

El calentamiento global es una de las principales causas por el que se ha indagado y llegado a la conclusión de que es un efecto nocivo para la diversidad biológica. Así mismo, conseguiría convertirse en uno de los impulsores más graves en lo que es la disminución de biodiversidad, originando la desaparición de entre un 15 y 37% de las especies al 2050 (Ministerio del medio ambiente, 2014). En términos generales, se indica que para América Latina y el Caribe, la crisis climática podría aumentar la tasa de pérdida de recursos biológicos e inducir alteraciones en los ecosistemas que aceleren la pérdida de especies (Cepal, 2015).

Por ende, resulta primordial estar al tanto sobre los factores ambientales estresantes que conllevan a la merma de la biodiversidad, donde tratar de presagiar, amortiguar y quizás corregir estos efectos es un reto esencial y urgente para los biólogos (Schwenk *et al.*, 2009; Bellard *et al.*, 2012; Cahill *et al.*, 2013, Nowakowski *et al.*, 2018). Si persiste la tasa actual de temperaturas, las proyecciones revelan un acrecentamiento de la temperatura global de 1,5°C en medio de los años 2030 y 2052 (IPCC, 2018), notificándose que temperaturas ascendentes inducen que las especies sean vulnerables ante un medio cambiante (Lara-Reséndiz *et al.*, 2019). Se ha manifestado que el cambio climático tiene una consecuencia particularmente significativa para los ectotermos, los que se ven vigorosamente amenazados por el calentamiento global debido a su dependencia a la temperatura ambiental (T_a) (Deutsch *et al.*, 2008; Huey *et al.*, 2009; Sinervo *et al.*, 2010; Grigaltchik *et al.*, 2012).

Las respuestas al aumento de las temperaturas han contenido cambios en la fenología, extinción local, pérdida de hábitat natural, cambios en la distribución y abundancia de las especies (Colwell *et al.*, 2008; Sinervo *et al.*, 2010; Pereira *et al.*, 2010; Winter *et al.*, 2016) y, por consiguiente, grandes repercusiones mundiales en la biodiversidad (Sinervo *et al.*, 2010; Winter *et al.*, 2016). Es probable que las perturbaciones climáticas causen cambios en los nichos térmicos, otorgando mayor relevancia a los estudios que consideran las interrelaciones entre fisiología y microclima (Lara-Resendiz *et al.*, 2015; Pontes Da-Silva *et al.*, 2018).

Los organismos ectotermos están amenazados por el calentamiento global debido a la alteración de su nicho térmico (Deutsch *et al.*, 2008; Huey *et al.*, 2009; Sinervo *et al.*, 2010) ya que la mayoría de ellos deben termorregular para mantener su temperatura corporal (T_c) dentro de un intervalo óptimo. De este modo, cuando la temperatura ambiental (T_a) es alta, deben refugiarse para evitar que su temperatura corporal (T_c) exceda su límite superior de tolerancia térmica (CT_{max}) y mueran por sobrecalentamiento (Cowles & Bogert, 1944; Sinervo *et al.*, 2017). De acuerdo con un estudio realizado por Sinervo *et al.* (2011), el hecho de que los individuos persistan más tiempo refugiados (horas de restricción térmica) durante su horario de actividad afecta categóricamente el lapso destinado para que cumplan sus actividades biológicas básicas tales como el forrajeo. El efecto podría extenderse con graves resultados en el período de reproducción, induciendo que esta tasa disminuya, por lo cual reduciría el reclutamiento poblacional con el consecuente decrecimiento de las poblaciones hasta su extinción. Para impedir estos efectos nocivos, las especies deberían cambiar su distribución a ambientes más propicios, adaptarse *in situ* o aclimatarse a través de la plasticidad fenotípica preexistente (Mc Donnell & Chapman, 2015).

En base a los antecedentes anteriormente planteados, estar al tanto de los efectos del cambio climático sobre las especies animales se torna en un trabajo prioritario, donde los participantes relacionados con la fisiología térmica contribuyen a la comprensión de cómo se verán afectadas las especies por esta crisis (Winter *et al.*, 2016; Oyamaguchi *et al.*, 2017). Por lo que, evaluar la variable de rendimiento locomotor permitiría determinar el desempeño óptimo que presenta la especie ante ciertas condiciones de temperaturas, la cual tiene vínculos directos con la aptitud del organismo a través de impactos en la capacidad de alimentación, la evasión de depredadores y otros comportamientos dependientes de la movilidad (Angilletta *et al.*, 2002, Pörtner *et al.*, 2006).

Ante el proceso de aclimatación térmica, los organismos se adaptan a un ambiente delimitado, del cual habrá implicancias en diversas funciones desarrolladas por el animal, debiendo modificar la originalidad de su hábitat principalmente (Emigdio, 1946). Por lo que el análisis sobre las tolerancias térmicas permite perfeccionar diferentes habilidades sobre conservación para especies que se pueden ver más afectadas (Yandún, 2017).

Los anfibios han demostrado poseer una gran capacidad de adaptación, debido que han colonizado una amplia variedad de ambientes térmicos (Angilleta *et al.*, 2002) por lo que resulta relevante evaluar el nivel de vulnerabilidad que puedan presentar bajo a un proceso de aclimatación de dos temperaturas (10°C y 20°C), para así poder exteriorizar la capacidad de estos anuros frente a una plasticidad fenotípica.

En el caso específico de los anfibios, las exigencias fisiológicas y, además, hidrológicas; unidas a la baja vagilidad incitan que éstos sean altamente sensibles a los cambios climáticos (Hutchison & Dupre 1992; Blaustein *et al.*, 1994; Houlihan *et al.*, 2000; Angilleta, 2009; Lawler *et al.*, 2010) clasificándose como el taxa de vertebrados con mayor peligro de extinción, donde la temperatura ambiental (T_a) y la humedad relativa son las variables ambientales dominantes que perturban su desempeño (Fitzgerald & Bider, 1974; Tracy, 1976; Bider & Morrison, 1981). Pese a sus supuestas limitaciones, han alcanzado a estar presente en un extenso espectro de ambientes (Angilleta, 2009), manejando tácticas de termorregulación que les permiten conservar una temperatura corporal (T_c) próximo a su intervalo óptimo de temperatura (Bartholomew, 1982) y así maximizar su desempeño metabólico en procesos como la digestión, la natación y locomoción. (Angilleta *et al.*, 2002; Navas *et al.*, 2008; Wells 2007).

Se augura que los impactos biológicos del calentamiento climático acrecentarán con la latitud, vinculado con los aumentos del calentamiento antropogénico (Huey *et al.*, 2009). Ciertos autores argumentan que las especies de ambientes templados pueden ser más vulnerables a comparación de especies tropicales debido a una mayor variabilidad térmica en las zonas templadas, lo que acrecienta la incidencia de temperaturas letales (Kingsolver *et al.*, 2013; Vasseur *et al.*, 2014).

En cuanto a Chile, estudios recientes presagian un aumento en las temperaturas ambientales máximas y mínimas, las que lograrían brindar información decisiva para el establecimiento de políticas de mitigación y adaptación (Araya-Osses *et al.*, 2020). Si bien existen estudios de cómo la temperatura afecta a los anfibios que residen en Chile (Benavides *et al.*, 2005; Castañeda *et al.*, 2006; Méndez & Correa-Solis, 2009; Alveal *et al.*, 2016), existe escasez de cómo estos cambios climáticos están perturbando directa o indirectamente a las

especies, puesto que no se han examinado efectivamente las particularidades del entorno y de cómo estos responden a las variaciones ambientales (Ruiz-Aravena *et al.*, 2014).

Pleurodema bufonina, es una especie ideal para evaluar la vulnerabilidad ante el cambio climático, considerando sus rasgos ecofisiológicos, ya que se encuentra en un amplio rango geográfico de Argentina y Chile; incluso residen un vasto rango latitudinal, desde la región del Biobío y Aysén (Celis *et al.*, 2011). Esta especie está bien adaptada a vivir a los rigurosos escenarios climáticos extremos y de sequedad ambiental, tanto de frío-nieve, humedad y de altas temperaturas en ambientes xéricos de altura (Bonino *et al.*, 2022).

Según un estudio realizado a nivel larvario en esta especie, *Pleurodema bufonina* es una especie vulnerable ante a un posible escenario de calentamiento climático de acuerdo a sus curvas de rendimiento, y debido a que las áreas que muestran mayor riesgo en escenarios futuros corresponden precisamente a los hábitats más secos de su distribución (Perotti *et al.* 2018), donde existe mayor probabilidad de que las aguas poco profundas puedan perderse debido a la desecación. Por lo que sería necesario evaluar si otros estadios ontogenéticos de la especie podrían verse afectado de la misma manera.

Pregunta de Investigación:

¿Cuál es la respuesta ecofisiológica frente al cambio climático de una población de “*Pleurodema bufonina*” perteneciente al sector Los Barros, región del Biobío?

Objeto de Estudio:

Respuesta ecofisiológica frente al cambio climático de una población de “*Pleurodema bufonina*” perteneciente al sector Los Barros, región del Biobío.

Objetivo General:

Evaluar la respuesta ecofisiológica frente al cambio climático de una población de “*Pleurodema bufonina*” perteneciente al sector los Barros, región del Biobío.

Objetivos Específicos:

- Determinar la tolerancia térmica de una población de “*Pleurodema bufonina*” perteneciente al sector Los Barros, Región del Biobío.
- Analizar el rendimiento locomotor de una población de “*Pleurodema bufonina*” perteneciente al sector los Barros, Región del Biobío.
- Establecer el margen de seguridad térmica y tolerancia al calentamiento de una población de “*Pleurodema bufonina*” perteneciente al sector los Barros, Región del Biobío.
- Analizar el efecto de la temperatura de aclimatación sobre la respuesta térmica de la especie.

Hipótesis

H1: La especie será vulnerable ante los aumentos de temperatura del calentamiento global.

H01: La especie no será vulnerable ante los aumentos de temperatura del calentamiento global.

Marco Referencial

Efecto del calentamiento global

El fenómeno del calentamiento global ha resultado en un aumento de la temperatura media de la Tierra en 0,9 °C durante el periodo de 1880 a 2012, y se pronostican incrementos adicionales en las temperaturas medias ambientales, junto con un aumento en la frecuencia de eventos térmicos extremos en el futuro (Pachauri et al., 2014). Este cambio ambiental ha llevado a descensos en las poblaciones de anuros. Por consiguiente, la investigación sobre las tolerancias térmicas de esta población no solo es crucial para entender mejor su respuesta al calentamiento global, sino que también proporciona información esencial para el desarrollo de estrategias de conservación y preservación, especialmente para aquellas especies que podrían ser más afectadas por estos cambios (Yandún, 2017).

Con estos acrecentamientos de temperaturas se han podido evidenciar efectos notorios que años anteriores se consideraban como temas lejanos, como es el derretimiento de los glaciares, cambios en los patrones de precipitaciones que incita a diferentes especies de animales a desplazarse hacia nuevos territorios (Liiodden, 2017).

Ante este hecho, la vulnerabilidad de las especies al calentamiento global depende de su sensibilidad al cambio ambiental, su grado de exposición y de su potencial de adaptación (Williams *et al.*, 2008; Huey *et al.*, 2012), lo que afectaría en la vida silvestre de estos y a sus hábitats (Liiodden, 2017). Gutiérrez - Pesquera (2015) menciona que el estudio de la fisiología térmica de las especies es capaz de proporcionar información esencial para poder predecir y en su caso tratar de mitigar los efectos del calentamiento global.

Para responder a las presiones térmicas ambientales, los organismos hacen uso de tres estrategias para hacer frente al aumento de temperaturas: Una es la adaptación mediante cambios evolutivos en sus tolerancias térmicas, la segunda es la aclimatación térmica (plasticidad) mediante el ajuste de la fisiología de los individuos a las nuevas condiciones, y finalmente pueden producir alteraciones en su fenología y distribución geográfica (Angilletta, 2009).

La aclimatación térmica se refiere a la adaptación de un organismo a un entorno específico, lo que puede tener implicancias en diversas funciones desarrolladas por el animal, a menudo llevándolo a modificar la originalidad de su hábitat principal (Emigdio, 1946).

Los anfibios han demostrado poseer una notable capacidad de adaptación, conquistando una amplia variedad de ambientes térmicos, algunos de los cuales son considerablemente exigentes, como las altas latitudes, desiertos y montañas (Angilleta et al., 2002). Por lo tanto, resulta crucial evaluar el grado de vulnerabilidad que puedan presentar durante un proceso de aclimatación a dos temperaturas específicas (10°C y 20°C), así como evidenciar la capacidad de estos anuros frente a un proceso de plasticidad fenotípica.

Este fenómeno de origen antropogénico ha tenido consecuencias ecológicas evidentes tanto para la biodiversidad en general como para los anfibios en particular (Southward et al., 1995; Walther et al., 2002). Los anfibios constituyen el grupo de vertebrados más afectado por este efecto antropogénico (Lobos et al., 2013). Entre las causas destacadas se encuentran el desplazamiento de las especies hacia altitudes superiores para compensar el aumento de las temperaturas, la dificultad de algunas especies para encontrar alimentos o recursos en el hábitat debido a cambios en su disponibilidad estacional (Parmesan, 2006), la destrucción y fragmentación de su hábitat, el aumento de la radiación ultravioleta, la contaminación del agua y la introducción de especies alóctonas o invasoras (Beebee & Griffiths, 2005, citado en Gutiérrez-Pesquera, 2015).

Rasgos ecofisiológicos y ectotermos

Los anfibios presentan una gran gama de características fisiológicas, ecológicas y de historia de vida que los hacen especialmente sensibles a los cambios ambientales (Gutiérrez-Pesquera, 2015). Como ectotermos, los anfibios dependen vigorosamente de las temperaturas ambientales para llevar a cabo sus principales funciones vitales, dependen en una mayor proporción de su temperatura corporal (T_c) (Carey, 1978; Angilleta *et al.*, 2002).

Así, las curvas de desempeño (o performance curves) describen cómo las funciones fisiológicas se ven afectadas por la temperatura corporal (T_c). La T_c opera como un componente de control para diversos procesos fisiológicos como lo es el consumo de

oxígeno, frecuencia cardíaca, locomoción, balance de agua y la digestión (Köhler, 2011). También de procesos comportamentales como el desplazamiento en busca de condiciones ambientales favorables de temperatura y humedad (Kaufmann & Dohmen, 2016; Köhler, 2011).

Las curvas de desempeño son funciones no lineales y asimétricas, las cuales típicamente son caracterizadas por un aumento progresivo en la eficacia de la función fisiológica a medida que aumenta la temperatura y un rápido declive en el desempeño cuando la temperatura corporal supera un valor óptimo (Figura 1).

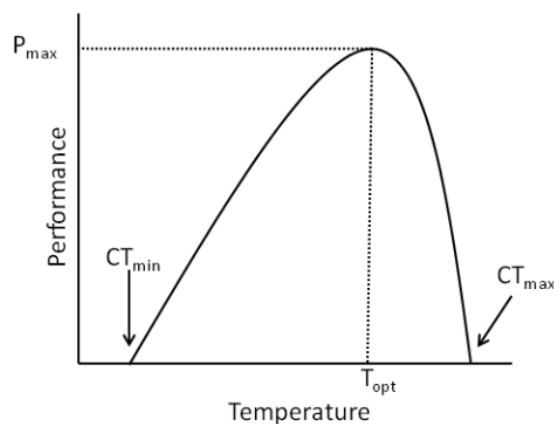


Figura 1. Curva de desempeño en ectotermos. P_{max} (máxima performance), CT_{min} (temperatura crítica mínima), T_{opt} (temperatura óptima de desempeño), CT_{max} (temperatura crítica máxima). Extraída de Gutiérrez-Pesquera, (2015).

Los límites térmicos críticos (CT_{max} y CT_{min}) son parámetros claves de las curvas de desempeño que delimitan el rango de temperaturas corporales dentro del cual estas funciones pueden tener lugar (Huey & Stevenson, 1979). La temperatura crítica máxima (CT_{max}) y, de forma análoga, la temperatura crítica mínima (CT_{min}) se definieron inicialmente en lagartos, basándose en la capacidad de movimiento, como la temperatura en la que la locomoción se vuelve descoordinada y los animales son incapaces de escapar a situaciones que, en condiciones naturales, los llevaría a la muerte (Cowles & Bogert, 1944; Lutterschmidt & Hutchison, 1997). Por ejemplo, al no poder buscar su alimento o escapar de sus depredadores. La capacidad de los organismos para lidiar con el calentamiento global dependerá de (i) cuán próximas están las temperaturas ambientales de sus límites de tolerancia térmica y (ii) el grado en que sean capaces de ajustar o aclimatar dicha tolerancia a las nuevas condiciones (Stillman, 2003; Somero, 2005).

Nociones generales sobre anfibios

Los anfibios, un diverso grupo de vertebrados, abarcan alrededor de 7,100 especies a nivel mundial, mostrando una notoria permanencia y evolución a lo largo de los años, lo que ha llevado a su considerable diversificación con el tiempo (Lobos et al., 2013). Estas especies se clasifican en tres órdenes: Gymnophiona, que incluye a las cecilias; Caudata, que agrupa a las salamandras, tritones o ajolotes; y finalmente, el grupo más extenso y conocido, Anura, que reúne a ranas y sapos (Lobos et al., 2013). Desde una perspectiva ecológica, los anfibios desempeñan un papel crucial en los ecosistemas al controlar insectos, servir como fuente de alimento para otros animales, contribuir a la dinámica de sedimentos en cuerpos de agua y establecer un vínculo esencial de materia y energía entre los entornos acuáticos y terrestres (Lobos et al., 2013).

Los anfibios llevan una vida dual, con una fase acuática y otra terrestre, lo que implica un drástico cambio en su estructura corporal conocido como metamorfosis. Este proceso, aunque fundamental para su supervivencia, aumenta su vulnerabilidad a la depredación, ya que los renacuajos, en una fase inicial, son presa de varios animales como reptiles y culebras (Wassersug y Sperry, 1977; Arnold y Wassersug, 1978, citados en Manjarrez, 1994) (Figura 2).



Figura 2. Ciclo de vida de un anfibio: Diferentes etapas en su desarrollo y estadios metamórficos (Extraído de «Ciclo de vida de un anfibio», 2020).

Caracterizados por su fuerte dependencia del agua, estos organismos habitan en proximidad a charcos, ríos o ambientes muy húmedos. Son animales ectotermos, ya que requieren una fuente externa de energía térmica (Angilletta, 2009). Además, son poiquilotermos, puesto que sus temperaturas corporales son variables, lo que los lleva a optar por ambientes de temperaturas templadas a cálidas (Bahamonde, 2013).

Según Correa, (2019) el número de especies de anfibios de nuestro país ha presentado con el paso de los años cambios constantes a través del tiempo, mencionando que en 2013 se alcanzó un máximo de 63 especies; posterior a ese año hubo una disminución refiriéndola a cambios taxonómicos y trabajos sistemáticos. Por lo que Correa et al (2016) menciona a través de la creación de una lista en la que se contempla a 60 especies nativas.

Temperatura, humedad en los anfibios

Los anfibios presentan una serie de características fisiológicas, ecológicas y una historia de vida que los hace especialmente vulnerables a cambios ambientales, pero una de sus grandes particularidades a diferencia de otros animales es ser ectotermos, debido a que no poseen de una piel que limite la evaporación de agua, por lo cual fácilmente pueden perder mucha agua corporal si están en ambientes que se tornen muy secos, por lo que ha sido considerado como un factor muy relevante en la adaptación de los taxones para conquistar ambientes terrestres (Lobos *et al.*, 2013; Ricardo, 2017). Por ello, uno de los mecanismos utilizados para evitar la desecación es regular sus actividades, con adaptaciones que les permiten ocupar de forma sucesiva hábitats acuáticos temporales y ambientes terrestres, tal como sucede con el ciclo vital bifásico (Bahamonde, 2013).

Estos organismos al ser ectotermos dependen de una fuente externa de energía térmica que es la temperatura ambiental la que es considerada como una variable influyente en lo que es supervivencia, crecimiento y el comportamiento de los anuros como la ovoposición, emergencia, canto, etcétera (Angilletta, 2009). Al existir tolerancia, se presenta cierta variación ontogénica y geográfica, dependiendo de la adaptación latitudinal y altitudinal de las poblaciones (Manjarrez, 1994).

Las temperaturas ambientales bajas, pueden ocasionar algunas desventajas, como un aumento del tiempo de desarrollo de los renacuajos, con un mayor riesgo de depredación. Aun así, estas bajas temperaturas confieren también algunas ventajas como un mayor tamaño corporal al finalizar la metamorfosis (Díaz-Páez & Canales-Arévalo, 2018). Aparentemente, la temperatura es un componente ambiental al que los anfibios presentan adaptaciones ontogénicas y geográficas (plasticidad fenotípica), como destreza de su historia natural, sobreviviendo dentro de amplios intervalos de tolerancia a la temperatura (Manjarrez, 1994).

En los anfibios, la pérdida de agua que conduce a la desecación puede ser un límite fisiológico más restrictivo que la temperatura (Tracy *et al.*, 1993), sin embargo, pocas evaluaciones han tenido en cuenta su papel en la regulación de la restricción ambiental y la persistencia de especies en entornos cambiantes (Bartelt *et al.*, 2010; Tracy *et al.*, 2013). Por lo que, mantener niveles hídricos adecuados es importante para los anfibios, debido a que el equilibrio entre la absorción y la evaporación del agua determina el estado hídrico, que probablemente sea un factor muy importante en la evolución del grupo (Titon *et al.*, 2010) ya que, ante una deshidratación esta afecta negativamente el rendimiento y que, a alta hidratación, las ranas saltan mejor a altas temperaturas.

Los ectotermos deben seleccionar áreas para habitar que permitan una hidratación adecuada para la respiración y el intercambio iónico. Para utilizar o minimizar los efectos de estos parámetros, los anfibios termorregulan fisiológica y conductualmente (Hutchison y Dupré 1992), rehidratan y retienen el agua (Jørgensen 1997; Hillyard 1999), regularizan su temperatura fundamentalmente a través de la conducta, es decir, escogiendo sitios con temperaturas que les permitan mantener una temperatura corporal preferida, la que concierne a la más adecuada para el buen funcionamiento fisiológico y conductual (Licht, 1965; Heath 1970; Hertz *et al.*, 1993; Angilletta *et al.*, 2002; Tracy *et al.*, 2010 como se citó en Guevara-Molina *et al.*, 2020).

Los anfibios de cuerpo pequeño tienen una gran relación superficie-volumen en comparación con los animales más grandes y, por lo tanto, pueden experimentar cambios rápidos y grandes tanto en la temperatura corporal como en el contenido de agua debido a las variables mencionadas anteriormente. Estos cambios potencialmente rápidos en la temperatura y el agua corporal restringen a los pequeños anfibios a hábitats húmedos donde

pueden experimentar mayores presiones de depredación (Lewis & Eby, 2002). La supervivencia de estas puede depender directamente de la distancia máxima de salto mostrada porque muchas escapan o evitan a los depredadores saltando al agua.

Es por esto por lo que el incremento o la disminución drástica de temperatura pueden afectar gravemente, porque puede inducir importantes alteraciones fisiológicas, como cambio en la fenología reproductiva, efectos sobre la determinación del sexo y alteración en el sistema inmune, es decir, en la capacidad de reducir los riesgos de infección. (Lobos *et al.*, 2013) bajo circunstancias estresantes (altas temperaturas y/o baja humedad), los anfibios tienden a buscar refugio y reducir sus acciones, lo que involucra, además, una mayor limitación para su dispersión, migración u otros movimientos (Lobos *et al.*, 2013).

Rendimiento locomotor

El desempeño locomotor de los ectotermos es altamente sensible a cambios agudos en la temperatura corporal (Bennett, 1990); por lo que es posible analizar lo profundamente afectados que son por los cambios en la temperatura ambiental (Angilletta *et al.*, 2002). Frente a disminuciones en el desempeño locomotor como resultado de aumentos o descenso en la temperatura pueden afectar la capacidad de un ectotermo para escapar de los depredadores (Christian y Tracy, 1981) y capturar presas (Beddow *et al.*, 1995). Varios anfibios pueden compensar los efectos de los cambios de temperatura a largo plazo en el rendimiento locomotor mejorando el rendimiento a las temperaturas a las que están expuestos (Beddow *et al.*, 1995, Johnson y Bennett, 1995, Wilson y Franklin, 2000).

Según Vidal *et al.* (2020) mencionan que a través de la experimentación de una población obtuvieron, que tanto la temperatura como la hidratación afectaron el desempeño locomotor, considerando distintos valores de hidratación; para ambos factores, el rendimiento aumentó con la temperatura, así como con el nivel de hidratación.

Esto es principalmente una consecuencia de los efectos sobre la velocidad contráctil del músculo y el metabolismo energético; en algunos casos, cambios en el entorno físico, particularmente en organismo que se mueven a través de fluidos (Fuiman y Batty, 1997, James, 2013, Johnston y Temple, 2002 como se citó en Hitchcock *et al.*, 2017).

Una locomoción efectiva es esencial para el buen estado físico de muchos animales (Angilletta *et al.*, 2002). Los efectos de la temperatura en el desempeño locomotor tienen vínculos directos con la aptitud del organismo a través de impactos en la capacidad de alimentación, la evasión de depredadores y otros comportamientos dependientes de la movilidad (Angilletta *et al.*, 2002, Pörtner *et al.*, 2006).

Las relaciones entre la temperatura, el metabolismo energético y la movilidad en muchos ectotermos se complican aún más por las demandas fisiológicas y físicas asociadas con la alimentación y el manejo de las reservas de energía (Hitchcock *et al.*, 2017). La alimentación puede promover el ajuste de la temperatura preferida (Wang *et al.*, 2002; McConnachie y Alexander, 2004; Fontaine *et al.*, 2018 como se citó en Guevara-Molina *et al.*, 2020). La digestión puede tener costos energéticos sustanciales que desvían energía de otras funciones fisiológicas y limitan el desempeño locomotor (Secor, 2009, Thorarensen y Farrell, 2006).

La temperatura corporal (T_b) es la variable ecofisiológica más importante que afecta el desempeño de los ectotermos. Prácticamente en todos los aspectos del comportamiento y la fisiología de los ectotermos son sensibles a la T_b (Huey y Stevenson, 1979; Huey, 1982). Dado que la T_b tiene un efecto tan profundo en el rendimiento, no sorprende que los ectotermos logren responder a la heterogeneidad del entorno térmico de varias maneras. Huey (1982) caracterizó estas respuestas por la escala de tiempo en la que permiten a los organismos hacer frente a la variación de la temperatura ambiental, y se termorregulan esencialmente por mecanismos conductuales.

***Pleurodema Bufonina* como modelo de estudio**

P. bufonina es un batracio de tamaño pequeño, visualmente presenta piel lisa con diminutas rugosidades, fenotípicamente posee una coloración dorsal gris oscuro, con manchas dorsales, puede presentar estrías de coloración amarillo verdoso sobre el dorso y blanco grisáceo hacia el vientre. Presentan características corporales como glándulas lumbares alargadas y ovaladas en la parte posterior del cuerpo, de coloración grisácea, extremidades cortas y finas, dedos de patas traseras sin membrana interdigital (Bahamonde, 2013), (Figura 3).

Su distribución en Chile se extiende desde la Región del Maule ($35^{\circ}25'36''\text{S}$ y $71^{\circ}40'18''\text{O}$), hasta el Parque Nacional Torres del Paine, en la Región de Magallanes y Antártica Chilena $51^{\circ} 2'0.77'' \text{ S}$ y $72^{\circ}33'55.13'' \text{ O}$ (Celis *et al.* 2011). En Magallanes esta distribución no es definitiva debido al escaso conocimiento de las especies existentes y de su real distribución geográfica (Asencio *et al.* 2009) y a nivel de latitud se encuentran por sobre los 2000 m de altura, hacia el sur las poblaciones pueden estar a 400 msnm en el sur de Sudamérica (Ferraro, 2009; Bahamonde, 2013).



Figura 3. Ejemplar de *Pleurodema bufonina*, se observan claramente sus características.

Habita en estepas, faldeos abiertos y matorrales de ecotono, en vertientes, mallines, costas de ríos, arroyos y lagunas. Se le encuentra bajo piedras o troncos caídos cercanos a cuerpos de agua. Según Pincheira-Donoso (2002) recurren a cuerpo de agua poco profundo y también ambientes marcadamente desérticos. Esta especie está sumamente bien adaptada a vivir en condiciones climáticas extremas tanto de frío-nieve, humedad y de altas temperaturas en ambientes xéricos de altura.

Estos se reproducen en las estaciones de primavera- verano, la oviposición y desarrollo larval ocurren en ambientes temporarios acuáticos lénticos, poco profundos, soleados y con vegetación (Weigandt *et al.*, 2004). Sus huevos, pigmentados, son depositados en tubos de gelatina, habiendo en ellos alrededor de unos 10 a 40 huevos por tubo, flotando en las superficies de agua; estas puestas están formadas por cordones largos (30-50 cm) o cortos (9-15 cm) (Fernández 1927, Úbeda 1998, Weigandt *et al.*, 2004).

Las larvas de esta especie toleran una media de temperaturas críticas máximas sobre los 38°C y temperaturas críticas mínimas de 0°C (Navas *et al.*, 2010; Perotti *et al.*, 2018). Perotti *et al.*, (2018) revela que *P. bufonina* es más vulnerable frente a un posible escenario de calentamiento climático en comparación con la especie *B. taeniata*. Los autores lo asocian a la mayor sensibilidad de estas especies frente a las altas temperaturas, de acuerdo a sus curvas de rendimiento, y debido a que las áreas que muestran mayor riesgo en escenarios futuros corresponden precisamente a los hábitats más secos de su distribución, donde existe mayor probabilidad de que las aguas poco profundas puedan perderse debido a la desecación.

Las condiciones ambientales de sus hábitats cordilleranos en la zona centro sur del país, se caracterizan por presentar un clima de transición entre mediterráneo y templado frío, las precipitaciones caen en forma de nieve, entre los meses de junio a septiembre y en forma de agua en el resto del año, con una concentración máxima entre mayo y agosto (55%) y un 9% entre enero y marzo. Las temperaturas son extremas y disminuyen sus promedios por efecto de la altura (CONAF 1993).

Diseño Metodológico

El diseño es de tipo experimental debido a que los datos se obtienen de una manera metódica y se manipularan de manera intencional. Se genera una situación donde se analizarán las relaciones entre una o más variables independientes y una o más variables dependientes bajo una situación de control, centrado en la validez, el rigor y el control de la problemática de investigación (Hernández *et al.*, 2010).

Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo, ya que se utiliza la recolección de datos de la especie, la cual es secuencial y probatorio. Cada etapa procede a la siguiente en un orden riguroso. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables, que se determinan en un contexto, para luego ser analizadas por métodos estadísticos, pudiendo establecer una serie de conclusiones con respecto a la hipótesis (Hernández *et al.*, 2010).

El alcance de la investigación es de tipo descriptivo-correlacional. Descriptivo, ya que se estudian las propiedades y características de la especie a través de variables (Hernández *et al.*, 2010) que en este caso fueron los parámetros térmicos. Por otra parte, es de tipo Correlacional, porque se evalúa el grado de asociación entre la temperatura corporal y la del ambiente, al igual como la vinculación entre los parámetros térmicos con la procedencia geográfica y temperatura de aclimatación de los individuos estudiados.

La dimensión temporal de esta investigación es de naturaleza transversal, ya se describen relaciones entre dos o más variables en un momento determinado (Hernández *et al.*, 2010).

Unidad de análisis y selección de la muestra

La unidad de análisis corresponde a individuos de la especie *P. Bufonina* cuya población habita en el sector Los Barros, Región del Biobío.

La muestra corresponde a individuos de la especie *Pleurodema Bufonina*, del sector Los Barros (37°28'S – 71°18'O), comuna de Antuco (Figura 4) y fue elegida en forma no probabilística, ya que, en este subgrupo de la población, dicha elección no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación (Hernández *et al.*, 2010), para cuyo caso se recolectaron especímenes de acuerdo a la disponibilidad en el terreno y cuerpo de agua adyacente.



Figura 4. Sector Los Barros, Antuco

Técnicas de recolección de información

Área de estudio:

Se realizaron salidas a terreno en el sector Los Barros, localidad que representa a una de las poblaciones más septentrional de la especie en Chile (Figura 5).

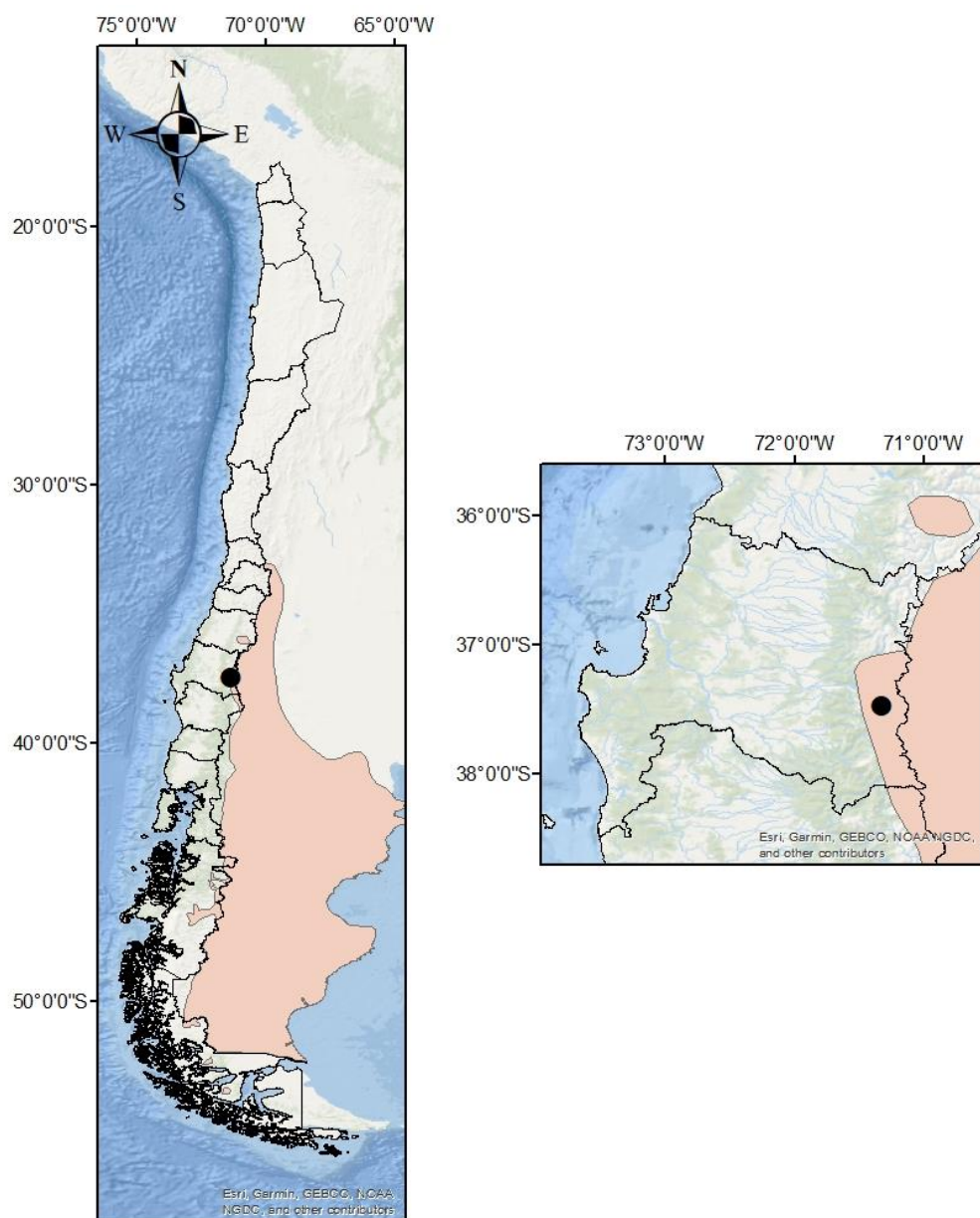


Figura 5. Ubicación geográfica del área de captura en punto negro (Sector Los Barros) y rango de distribución de *P. bufonina* en polígono damasco.

Obtención de datos de campo:

La captura se llevó a cabo de manera manual a través de la técnica de búsqueda de refugio y encuentro visual. Una vez capturados se registraron las temperaturas corporales de campo (TC_c), temperatura del sustrato (T_s), ambas mediante termómetro laser (Fluke 62 mini IP thermometer, C°). La temperatura del aire (T_a) fue registrada con un termómetro digital (Checktempt $0.1^\circ C$ de precisión).

Los individuos, fueron depositados en bolsas herméticas en el proceso de captura, una vez finalizada la búsqueda, son cambiados a cajas pequeñas individuales con agujeros y papel absorbente humedecido en el fondo, para así mantener las condiciones correspondientes y evitar algún daño físico o muerte del animal durante el traslado.

Dentro del día fueron transportados los 9 individuos de estadio adulto, sexo machos y hembras, hasta el laboratorio de Ecofisiología de Herpetozoos de la Universidad de Concepción, campus Los Ángeles.

Cautiverio y aclimatación:

Se mantuvieron en cautiverio en el laboratorio de Ecofisiología de Herpetozoos de la Universidad de Concepción, Campus Los ángeles, en acuarios de 15 cm de ancho x 30 cm de largo y 20 de profundidad. Conservando las condiciones adecuadas de humedad para evitar la deshidratación de los organismos, utilizando recipientes con agua y con condiciones térmicas ambientales controladas, utilizando dos temperaturas de aclimatación ($10^\circ C$ y $20^\circ C$).

Los animales fueron alimentados con larvas de tenebrios (*Tenebrio molitor*) y lombrices californianas (*Eisenia foetida*) cada 3 días.

Para cada temperatura se consideró un periodo de adaptación de 2 semanas, acorde a lo establecido por Barja de Quiroga, (2015). La aclimatación se considera como un periodo de tiempo en el cual los individuos se adaptan a las condiciones como temperatura y humedad del espacio, y que permite reducir la tensión de oxígeno ambiental en el laboratorio.

Parámetros térmicos a evaluar:

1. Temperatura crítica máxima (CT_{max}): Es la temperatura más alta que puede ser tolerada por un organismo. Para calcularla se utilizó el protocolo de Sanabria *et al.*, (2011), para el cálculo de CT_{max} , el individuo debió estar a una temperatura constante similar a la temperatura encontrada en el ambiente, se ubicaron dentro de un vaso precipitado con un papel humedecido, donde posteriormente el vaso con el individuo se fijó dentro de un baño termorregulador Julabo GmbH (Corio CD-200F), registrándose la temperatura del dorso con un termómetro laser cada cierto tiempo.

2. Temperatura crítica mínima (CT_{min}): Es la temperatura del cuerpo más baja que puede ser tolerada por un organismo. Para determinarla, el individuo debió estar a temperatura ambiente, y junto con el vaso precipitado se ubicó en el interior de un termoregulador, registrando su temperatura corporal y del sustrato.

La fase experimental perdura hasta que el individuo pierda el reflejo de voltearse, correspondiente a ese suceso, se deja registro de la última temperatura corporal soportada, las cuales serán CT_{min} y CT_{max} respectivamente. (Brooks & Sassman, 1965; Labra *et al.*, 2001).

3. Rango de tolerancia térmica: Es el rango de temperaturas delimitado por la CT_{min} y CT_{max} que pueden ser toleradas por nuestro organismo (Cowles & Bogert, 1944). Se calculo como la diferencia entre la CT_{max} y CT_{min} ($RTT = CT_{max} - CT_{min}$).

4. Tolerancia al calentamiento: Se define como la diferencia entre el CT_{max} del organismo y su temperatura ambiental actual. Este indicador refleja el calentamiento medio que un ectotermo puede soportar antes de que las temperaturas ambientales alcancen su límite de tolerancia fisiológico.

Se estableció como T_a actual la temperatura referida al sector Los Barros obtenido a través de la base de datos WordClim, la cual determinó que la T_a actual es de 21,4°C (correspondiente a la T° máxima período más caliente).

5. **Margen seguridad térmica:** Se define como la diferencia entre la temperatura óptima y la temperatura ambiente actual. Se estableció como T_a actual la temperatura referida al sector Los Barros obtenido a través de la base de datos WordClim, la cual determinó que la T_a actual es de $21,4^{\circ}\text{C}$ (correspondiente a la T° máxima período más caliente).

6. **Temperatura Óptima:** Se define como la temperatura uniforme que mide los escenarios ambientales que establece la temperatura en las que un cuerpo elimina calor por convección y por radiación, para garantizar un nivel mínimo de bienestar térmico. Está fue determinada mediante la prueba de laboratorio Rendimiento locomotor.

Para la obtención de T_{opt} , se evalúa el rendimiento locomotor de la especie, en la que los individuos fueron expuestos aleatoriamente a seis tratamientos térmicos (5°C , 10°C , 15°C , 20°C , 25°C y 30°C) durante 15 min en el termorregulador Julabo GmbH (Corio CD-200F); posterior a aquel tiempo transcurrido son llevados a una pista de corrida que en su interior posee un papel craft, para estimular que realice 3 saltos y así evidenciar las marcas de sus saltos, las que fueron medidas en (cm) con una regla.

Se estableció finalmente para cada temperatura, la media de las tres distancias recorridas para cada individuo al efectuar cada salto.

Resultados

Termorregulación en terreno

Los individuos de *P. bufonina* colectados en Los Barros presentan una masa $2,22 \pm 1,11$ g y longitud de $28,33 \pm 3,56$ mm. Los resultados térmicos obtenidos durante el terreno muestran que la T_c de campo presenta una media de $15,20 \pm 4,13^\circ\text{C}$, con un rango de temperatura ente los $7,20^\circ$ y $21,10^\circ\text{C}$.

El cálculo de la pendiente de regresión lineal múltiple en condiciones de campo entre la T_c y T_s es $T_c = 0,8846x \pm 1,8477$ ($R^2 = 0,9272$) y T_c y T_a $-1,276x \pm 48,677$ ($R^2 = 0,3684$) (Figura 6). Estos resultados indican que los cambios producidos en la T_c dependerán de los cambios producidos principalmente en la temperatura de sustrato (T_s). Es por ello por lo que los individuos de *P. Bufonina* de Los Barros presentan un comportamiento termoconformista para la temperatura del sustrato, por lo que podrían considerarse tigmotérmicos.

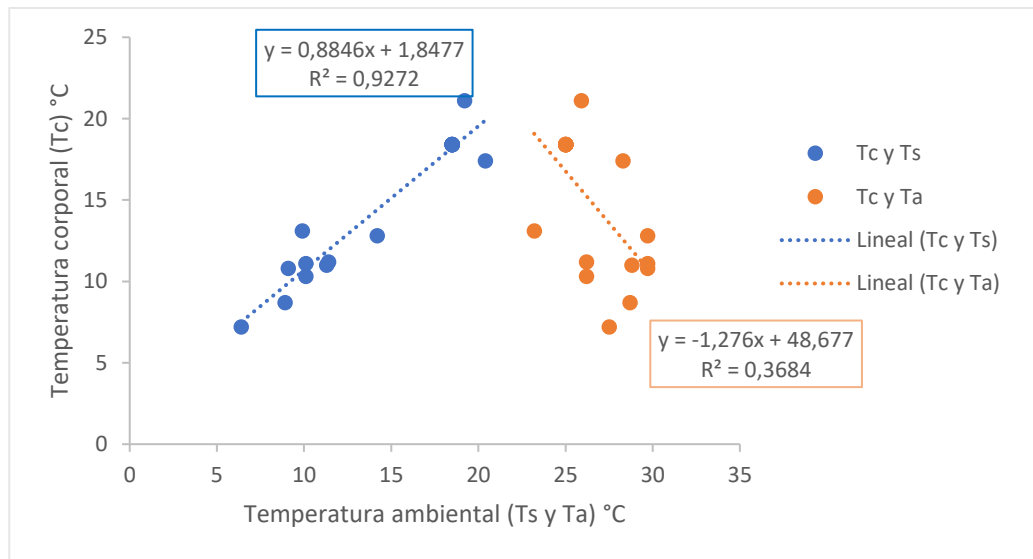


Figura 6. Gráfico Relación Temperatura corporal vs Temperatura ambiental.

Tolerancia Térmica

La Temperatura Crítica Máxima (CT_{max}) presenta una media de $37,07 \pm 1,40^{\circ}\text{C}$ en la aclimatación de 10°C con valores que van desde $34,8^{\circ}\text{C}$ y $38,6^{\circ}\text{C}$ en cambio en la aclimatación de 20°C la media disminuyó a $0,5^{\circ}\text{C}$ siendo de $36,55 \pm 1,93^{\circ}\text{C}$ con valores que van desde $33,8^{\circ}\text{C}$ y $39,2^{\circ}\text{C}$ (Figura 7). En la aclimatación de 20°C se observó una mayor dispersión en el rango de temperaturas; sin embargo, a través del test de Wilcoxon se determinó de que no se observaron diferencias significativas en CT_{max} al comparar entre las diferentes temperaturas de aclimatación ($Z= 0,71$; $p= 0,4622$) (Anexo 1).

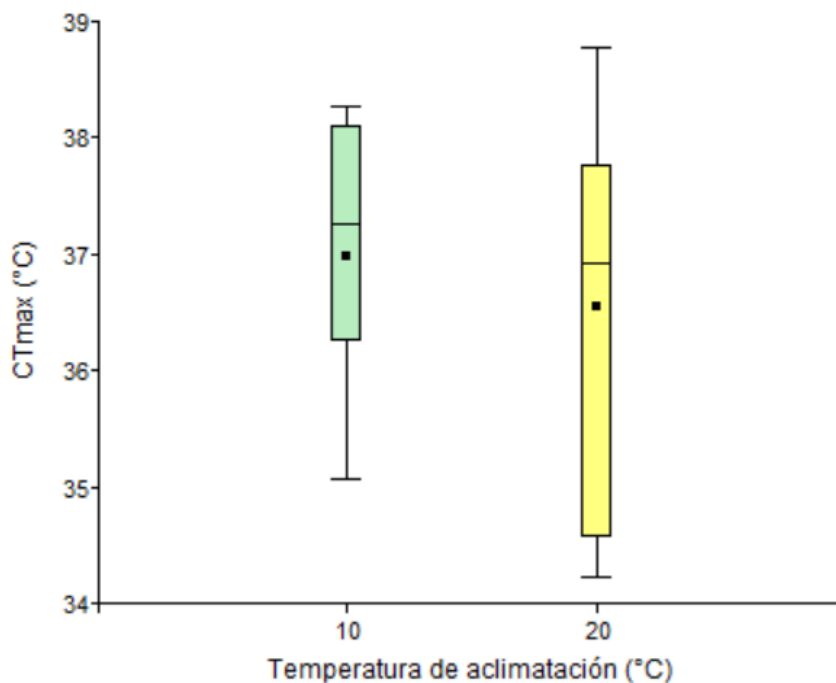


Figura 7. Gráfico CT_{max} ($^{\circ}\text{C}$) tomados a 10°C y 20°C de aclimatación.

La Temperatura Crítica mínima (CT_{min}) presenta una media de $-0,90 \pm 0,70$ en la aclimatación de $10^{\circ}C$ con valores que van desde $-1,60$ y $0,20^{\circ}C$, en cambio en la aclimatación de $20^{\circ}C$ la media disminuyo a $-0,66^{\circ}C$ siendo de $-0,24 \pm 0,72^{\circ}C$ con valores que van desde $-1,80^{\circ}C$ y $0,80^{\circ}C$ (Figura 8). Aunque a $10^{\circ}C$ la CT_{min} presentó valores menores; Sin embargo, a través del test de Wilcoxon se determinó no se observaron diferencias significativas en CT_{min} al comparar entre las diferentes temperaturas de aclimatación ($Z= -1,95$; $p= 0,0522$) (Anexo 1).

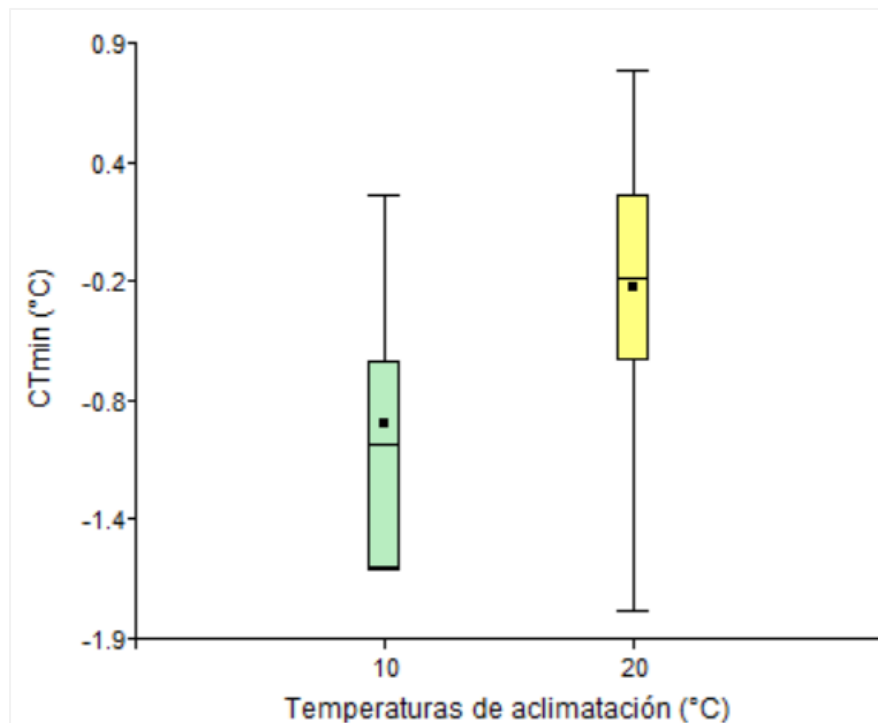


Figura 8. Gráfico CT_{min} ($^{\circ}C$) tomados a $10^{\circ}C$ y $20^{\circ}C$ de aclimatación.

En base a los parámetros establecidos anteriormente, se determinó el rango de tolerancia térmica (RTT) a ambas temperaturas de aclimatación, el cual fue relativamente mayor en la aclimatación de 10 °C debido a que hubo una mayor tolerancia a temperaturas críticas mínimas. Siendo los valores de $36,79 \pm 1,92^{\circ}\text{C}$ aclimatados a 20°C a comparación de $37,97 \pm 1,62^{\circ}\text{C}$ aclimatados a 10°C (Figura 9). Lo cual indicaría que la especie *Pleurodema bufonina* es una especie euritérmica. El test de Wilcoxon revela que no existen diferencias significativas en el RTT al comparar entre diferentes temperaturas de aclimatación ($Z= 1,36$; $p= 0,1588$) (Anexo 1).

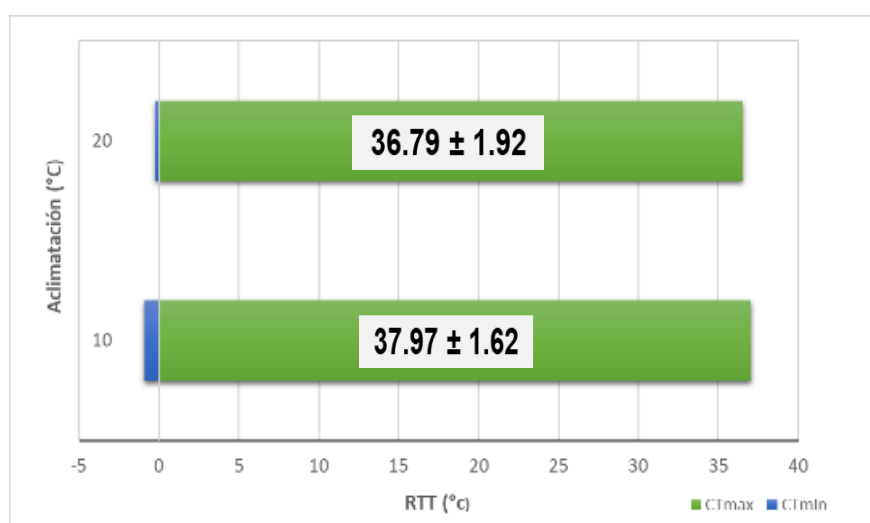


Figura 9. Gráfico de Rango de Tolerancia Térmica (RTT) a 10°C y 20°C de aclimatación.

Rendimiento Locomotor

Los animales inicialmente fueron masados con una balanza digital (g). Posteriormente se tomaron los valores de corrida (u_5 , u_{10} , u_{15} , u_{20} , u_{25} , u_{30}) junto a los valores críticos extremos (CT_{\min} – CT_{\max}) que permitieron configurar la curva de desempeño de la que se obtuvo el Área bajo la curva (ABC), Temperatura optima ($Topt$) y Rendimiento máximo (p_{\max}).

Los resultados revelaron que la curva de rendimiento se forma desde los 0° hasta los 36°C aproximadamente en ambas temperaturas a comparar. A los 10°C es posible apreciar una curva bimodal, sin embargo, la T_{opt} que ostentaron los individuos durante la prueba fue especialmente a los 25°C su mejor desempeño, incluso corroborándose con el cálculo del Área bajo la curva (ABC): 8,79. Por otro lado, a los 20°C se visualiza claramente una curva inclinada hacia el punto modal que es de 25°C con amplio desempeño locomotor, que es confirmado adicionalmente con el cálculo del Área bajo la curva (ABC): 12,11.

Es viable distinguir que al igual que en el control a 10°C al contrastar, ambas temperaturas de aclimatación indican un mayor desarrollo a 25°C. No se observaron diferencias significativas en la T_{opt} al comparar entre diferentes temperaturas de aclimatación ($Z= -0,90$; $p= 0,8920$) (Figura 10a y 10b).

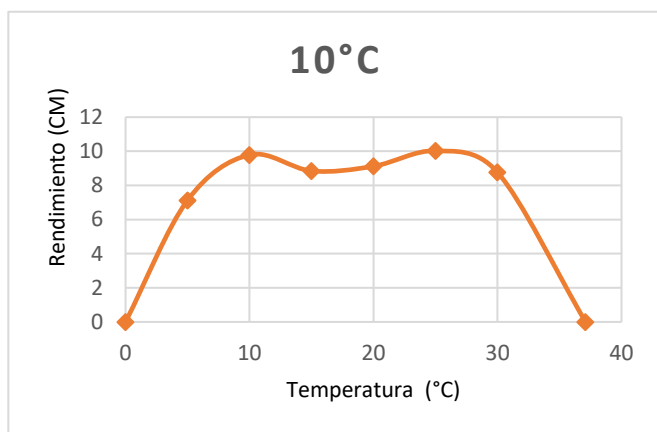


Figura 10a. Gráfico de Rendimiento locomotor tomado 10°C de aclimatación.

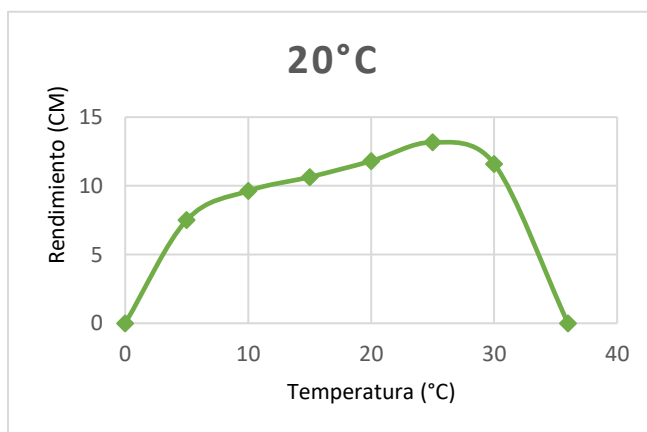


Figura 10b. Gráfico de Rendimiento locomotor tomado 20°C de aclimatación.

La $p_{m\acute{a}x}$, en estudio presentó un promedio durante la aclimatación de 10°C de $14,99 \pm 2,86$ cm, con un rango desde los 11,40 a 20,40 cm. A los 20°C, la $p_{m\acute{a}x}$ obtuvo un promedio mayor, de $16,26 \pm 4,54$ cm, con un rango más amplio, desde los 9,60 a 21,10 cm. Sin embargo, no se evidenciaron diferencias significativas al comparar este parámetro entre diferentes temperaturas de aclimatación ($Z= -0,01$; $p= 0,3420$) (Figura 11).

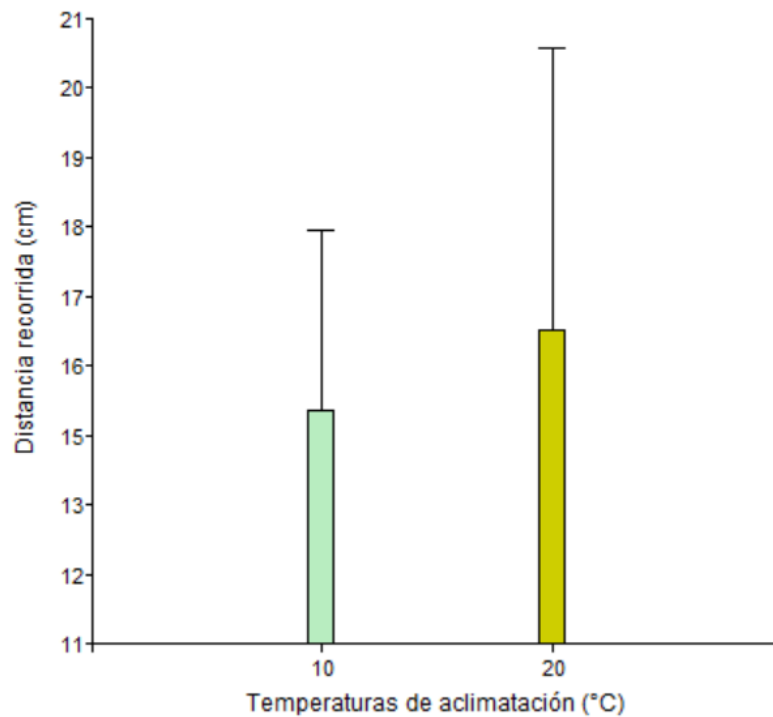


Figura 11. Gráfico de distancia recorrida tomada a 10°C y 20°C de aclimatación.

Tolerancia al calentamiento y Margen seguridad térmica

Se define como Tolerancia al calentamiento a la diferencia entre el valor de CT_{max} del organismo y su temperatura ambiental actual (T_a), de la cual a través del test de Wilcoxon se determinó que no presentan diferencias significativas entre las temperaturas de aclimatación ($Z= 0,65$; $p= 0,4954$); a los 10°C se obtuvo una media de $15,67 \pm 1,40$ °C con mínimas de 13,40°C y máximas de 17,20°C mientras que a los 20°C se obtuvo una media de $15,15 \pm 1,93$ °C. con mínimas de 12,40°C y máximas de 17,80°C.

El Margen de seguridad térmica se establece como la diferencia entre la temperatura óptima ($Topt$) y la temperatura ambiente actual (T_a), la cual a través del test de Wilcoxon no presentaron diferencias significativas entre las temperaturas de aclimatación ($Z= -0,90$; $p= 0,8920$), a los 10°C se obtuvo una media de $-0,29 \pm 4,86$ °C mientras que a los 20°C se obtuvo una media de $0,27 \pm 5,00$ °C. Obteniendo en ambas temperaturas de aclimatación mínimas y máximas que abarcan desde -6,40°C a 3,60°C.

Discusión

En el presente estudio, la respuesta térmica de la población de Los Barros de *Pleurodema bufonina* nos entrega antecedentes preliminares de cómo podrían responder frente a un escenario de cambio climático. De este modo se puede inferir que probablemente sea considerada una especie no vulnerable al cambio climático o que podría amortiguar de cierta forma los cambios producidos en el ambiente debido a sus características ecofisiológicas. Debido a que la capacidad de los organismos para lidiar con el calentamiento global dependerá de (i) cuán próximas están las temperaturas ambientales de sus límites de tolerancia térmica y (ii) el grado en que sean capaces de ajustar o aclimatar dicha tolerancia a las nuevas condiciones (Stillman, 2003; Somero, 2005).

En base a los resultados obtenidos, dado a su gran dependencia con la temperatura ambiental, especialmente con la del sustrato, esta población de *P. bufonina* es considerada como una especie termoconformista y tigmotérmica, lo que se asemeja a su especie congénérica *P. thaul* (Iturra-Cid *et al.*, 2014). Este mecanismo es apropiado cuando no requieren invertir tiempo y energía seleccionando activamente microambientes (Huey & Slatkin, 1976; Huey 1982), situación dada en condiciones de inactividad, como lo fue en el momento de captura, donde se encontraban refugiados bajo rocas volcánicas.

Los organismos con el mayor riesgo de extinción de especies por el cambio climático rápido son aquellos con una baja tolerancia al calentamiento, con una capacidad de aclimatación limitada y una dispersión reducida (Deutsch *et al.*, 2008). En nuestro estudio se determinó que la población de Los Barros de *Pleurodema bufonina* alcanza una CT_{max} superior a los $37^{\circ}C$ y CT_{min} menores a los $0^{\circ}C$, característica de especies que habitan en ambientes de mayor altitud (Angilleta *et al.*, 2002), las cuales toleran un amplio rango de temperaturas y son consideradas euritérmicas (Moyes & Schulte, 2007). Cabe destacar que durante la aclimatación de $10^{\circ}C$ se observó una mayor tolerancia a CT_{min} y, por ende, un mayor RTT a esta temperatura de aclimatación, pero no fueron significativas estas diferencias, por lo que no se evidencia un efecto significativo de la temperatura de aclimatación, lo que podría traducirse en una baja plasticidad de la especie en estos parámetros.

Autores como Navas et al. (2010) y Perotti et al. (2018), en diferentes años realizaron pruebas en larvas de esta especie, en la que llegaron a la conclusión de que toleran una media de temperaturas críticas máximas sobre los 38°C y temperaturas críticas mínimas de 0°C, lo cual se asemeja a los valores registrados en nuestro estudio en estadio adulto. Se ha determinado que la tolerancia a temperaturas críticas altas se debe a una adaptación a estanques temporales (Heatwole *et al.*, 1968) y que la tolerancia al frío es característico de anuros de ambientes de montaña (Bernal, 2008).

Al configurarse la curva de desempeño en base a dos temperaturas de aclimatación (10°C – 20°C) fue posible visualizar que a los 10 °C una curva bimodal, con sus máximos pick a los 10°C y 25°C; mientras que, por otro lado, a los 20° se obtuvo solo un punto modal la cual fue a 25 °C. Hay que destacar que, en los ectotermos, la exposición reciente a temperaturas elevadas a veces mejora el rendimiento térmico a temperaturas más altas (Glanville & Seebacher, 2006).

Para tal efecto, la Top a ambas temperaturas de aclimatación fue a los 25°C, con un pmáx mayor durante la aclimatación de 20°C, sin embargo, no se observó un efecto significativo de la temperatura de aclimatación. Esto podría ser preocupante, si se considera que la población en estudio presenta una baja plasticidad. Sin embargo, hay que considerar que el tamaño muestral es pequeño y que para poder dar relevancia a este resultado sería conveniente realizar estudios a futuro con un n mayor.

La especie en el ambiente que habita presenta un amplio margen de seguridad térmica y un amplio margen de tolerancia al calentamiento por ende, en base a estos resultados se podría inferir que probablemente no es vulnerable frente a un posible escenario de cambio climático, pero aun así hay que destacar que la especie habita en un ambiente subóptimo en cuanto a temperaturas ambientales, ya que según los registros climáticos del sector, la temperatura máxima del período más caliente presenta valores bajos en comparación con otros ambientes. Lo anterior lleva a que los individuos deban presentar comportamientos que generen compensaciones al reducir el tiempo disponible para alimentarse y otras actividades ecológicamente necesarias, lo que puede reducir el éxito reproductivo (Lertzman-Lepofsky *et al.*, 2020).

A partir de la medición de estos parámetros, la gran tolerancia a diversas temperaturas que posee la especie le permitiría enfrentarse bajo condiciones de un posible cambio climático en ambientes de montañas. Sin embargo, nuestros resultados también indican que no existe un efecto significativo en la temperatura de aclimatación sobre los parámetros estudiados, por lo cual, la población estudiada pareciera no ser tan plástica, lo que generaría una desventaja frente a un posible escenario de cambio climático. La baja plasticidad frente a un escenario de cambio climático implicaría tasas de crecimiento menores al igual que de adaptabilidad en comparación con especie plásticas (Xue & Leibler, 2018), de esta manera sería un mayor riesgo de extinción bajo este suceso (Ruiz-Aravena *et al.*, 2014; Riddell *et al.*, 2018 como se citó en Hoffmann *et al.*, 2021).

Por lo tanto, se sugiere evaluar a futuro una muestra mayor de la población y considerar poblaciones de otras localidades para tener una visión más amplia del comportamiento ecofisiológico de la especie y de su potencial plástico.

Conclusiones

En base al hábitat en el que se encuentra inmersa la especie presenta un amplio margen de seguridad térmica al igual que de tolerancia al calentamiento, por ende no se vería afectada por el cambio climático; por otro lado al no haber cambios en las temperaturas de aclimatación, indicaría que no es una especie muy plástica esta población lo que podría verse afectada por los cambios ambientales, dejando en gran incertidumbre si la especie se considera vulnerable o no de acuerdo a sus parámetros fisiológicos no es vulnerable pero no es muy plástica por lo que si cambia mucho su ambiente podría verse afectado.

A través del rendimiento locomotor se obtuvo que la T_{opt} que presentó la población a ambas temperaturas de aclimatación fue a 25°C .

Se instauran los valores de margen de seguridad térmica a 10°C los cuales establecen una media de $-0,29 \pm 4,86^{\circ}\text{C}$, la media que se indicó a los 20°C fue de $0,27 \pm 5,00^{\circ}\text{C}$, ante los resultados obtenidos se determina que la especie presenta un amplio margen de seguridad térmica, al igual que de tolerancia al calentamiento con valores en la media a los 10°C de $15,67 \pm 1,40^{\circ}\text{C}$, por otro lado la media a los 20°C fue de $15,15 \pm 1,93^{\circ}\text{C}$.

Por último, las dos temperaturas de aclimatación en laboratorio ($10^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$) no influyeron de manera significativa sobre los parámetros a evaluar.

Alcances de la investigación

La investigación abastece información sumamente valiosa sobre las respuestas térmicas de la especie *Pleurodema bufonina* del sector Los Barros, Antuco; con implicaciones importantes para su supervivencia en un posible escenario de cambio climático.

A pesar de que la especie presentó un amplio margen de seguridad térmica, la baja plasticidad podría ser una desventaja frente a acontecimientos del cambio climático. Ante esto, se insinúa que esta población de anuros podría no ser vulnerable o podría atenuar los efectos del cambio climático debido a sus particularidades ecofisiológicas.

La capacidad de estos organismos para enfrentar el calentamiento global depende de la proximidad de las temperaturas ambientales a sus límites de tolerancia y de su capacidad de ajuste o aclimatación, por lo cual se hace necesario aumentar el tamaño muestral para luego así responder certeramente sobre los parámetros térmicos de una especie que se conoce muy poco y proporcionar grandes aportes al mundo de las ciencias sobre un tema tan relevante de cómo afecta el cambio climático a ciertas especies pequeñas como esta.

De esta forma, el trabajo realizado durante meses de investigación facilitó y a su vez, enriqueció el aprendizaje de forma empírica el método científico, brindando las habilidades necesarias para el desarrollo de actividades metodológicas y prácticas de experimentación en laboratorio. Aspecto el cual es fundamental para el desarrollo profesional en profesores de ciencias naturales y biología.

Bibliografía

- Alveal, N., Díaz-Páez, H. & Ortiz, J. C. (2016). Thermal tolerance in the Andean toad *Rhinella spinulosa* (Anura: Bufonidae) at three sites located along a latitudinal gradient in Chile. *Journal of Thermal Biology*, 60, 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.07.019>
- Angilletta, M. J. (2009). *Thermal Adaptation a Theoretical and Empirical Synthesis*. Oxford University Press, USA, 289.
- Angilletta, M. J., Jr, Niewiarowski, P. H., & Navas, C. A. (2002). The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of Thermal Biology*, 27(4), 249–268. [https://doi.org/10.1016/s0306-4565\(01\)00094-8](https://doi.org/10.1016/s0306-4565(01)00094-8)
- Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, J. M., & Paneque, M. (2020). Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*, 54(9–10), 4309–4330. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05231-4>
- Asencio, J., A. Kusch, M. Henríquez & J. Cárcamo (2009). Registros de anfibios en el bosque norpatagónico costero del canal Messier, Chile. *Anales Instituto Patagonia*, 37(1):113-116, (Chile)
- Bahamonde, N. (2013). Registro de *Pleurodema Bufoninum* Bell 1843 (Amphibia: Anura: Leiuperidae) en una Turbera de *Sphagnum Magellanicum* Brid, Provincia de Última Esperanza, Región de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 41(2), 101-103. <https://doi.org/10.4067/s0718-686x2013000200010>

- Barja de Quiroga, G. (2015). *Estudio de la aclimatación a la tensión de oxígeno ambiente en el desarrollo de Discoglossus pictus pictus (Otth)*. Ucm.es.
<https://docta.ucm.es/entities/publication/390bafa2-75b5-4044-b0ab-f76da08a8ea3>
- Bartelt, P. E., Klaver, R. W., & Porter, W. P. (2010). Modeling amphibian energetics, habitat suitability, and movements of western toads, *Anaxyrus (Bufo) boreas*, across present and future landscapes. *Ecological Modelling*, 221(22), 2675–2686.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.07.009>
- Bartholomew, C. 1982. Physiological control of body temperature. En: Gans, C., Pough, F. (Eds) *Biology of Reptilia 12*: 167-211. Academic Press, London, New York, Paris, San Diego, San Francisco, São Paulo, Sydney, Tokyo, and Toronto.
- Beddow, T. A., Van Leeuwen, J. L., & Johnston, I. A. (1995). Swimming kinematics of fast starts are altered by temperature acclimation in the marine fish *Myoxocephalus Scorpius*. *The Journal of Experimental Biology*, 198(1), 203–208.
<https://doi.org/10.1242/jeb.198.1.203>
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity: Biodiversity and climate change. *Ecology Letters*, 15(4), 365–377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Benavides, A. G., Veloso, A., Jiménez, P. & Méndez, M. A. (2005). Assimilation efficiency in *Bufo spinulosus* tadpoles (Anura: Bufonidae): effects of temperature, diet quality and geographic origin. *Revista Chilena de Historia Natural* 78, 295-302.
- Bennett, A. F. (1990). Thermal dependence of locomotor capacity. *American Journal of Physiology-regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 259(2), R253-R258. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1990.259.2.r253>

- Bernal, M. (2008). Evaluación del efecto de la temperatura sobre el desarrollo embrionario como factor limitante en la distribución altitudinal de los anuros andinos. Tesis de Doctorado, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad de Colombia, Bogotá, Colombia, 146 pp.
- Bider, J. R. & Morrison, K. A. (1981). Changes in Toad (*Bufo americanus*) Responses to Abiotic Factors at the Northern Limit of Their Distribution. *American Midland Naturalist*, 106(2), 293. <https://doi.org/10.2307/2425165>
- bislineana. *Copeia* 1965, 251-252.
- Blaustein, A. R., Wake, D. B. & Sousa, W. P. (1994). Amphibian Declines: Judging Stability, Persistence, and Susceptibility of Populations to Local and Global Extinctions. *Conservation Biology*, 8(1), 60-71. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1994.08010060.x>
- Bonino, M., Pueta, M., Perotti, M. G., & Úbeda, C. A. (2022). Zoología sobre ranas y sapos. *uncoma.edu.ar*, 19(34).
- Brooks, G. & Sassman, J. (1965). Critical thermal maxima of larval and adults Eurycea
- Cahill, A. E., Aiello-Lammens, M. E., Fisher-Reid, M. C., Hua, X., Karanewsky, C. J., Yeong Ryu, H., Sbeglia, G. C., Spagnolo, F., Waldron, J. B., Warsi, O. & Wiens, J. J. (2013). How does climate change cause extinction? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1750), 20121890. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1890>
- Carey, C. (1978). Factors affecting body temperatures of toads. *Oecologia*, 35 (2), 197–219. Doi: 10.1007/BF00344732.
- Castañeda, L., Sabat, P., Gonzalez, S. & Nespolo, R. (2006). Digestive Plasticity in Tadpoles of the Chilean Giant Frog (*Caudiverbera caudiverbera*): Factorial Effects of Diet and

- Temperature. *Physiological and Biochemical Zoology*, 79(5), 919-926.
<https://doi.org/10.1086/506006>
- Celis, J., S. Ippi, A. Charrier & C. Garín (2011). *Guía de campo de los vertebrados terrestres, Fauna de los Bosques Templados de Chile*. Ed. Corporación Chilena de la Madera, Concepción, Chile. 255 pp.
- Cepal. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Estudios de Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y cuenta con el financiamiento de la Unión Europea, a través del Programa EUROCLIMA (CEC/14/001)*.
- Christian, K. A., & Tracy, C. R. (1981). The effect of the thermal environment on the ability of hatchling Galapagos land iguanas to avoid predation during dispersal. *Oecologia*, 49(2), 218-223. <https://doi.org/10.1007/bf00349191>
- Ciclo de vida de un anfibio. (2020, 23 enero). *Descubriendo a los anfibios*. <http://descubriendoyconociendoalosanfibios.over-blog.com/2020/01/ciclo-de-vida-de-un-anfibio.html>
- Colwell, R. K., Brehm, G., Cardelús, C. L., Gilman, A., & Longino, J. T. (2008). Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science*, 322(5899), 258-261. <https://doi.org/10.1126/science.1162547>
- CONAF (1993). *Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile*. Editor: Alfonso A. Glade. Santiago, Chile.
- Correa, C. (2019). *Nueva lista comentada de los anfibios de Chile (Amphibia, Anura)*. *Boletín Chileno de Herpetología*.
http://www.boletindeherpetologia.com/uploads/3/2/2/9/32291217/1._correa2019.pdf

- Correa, C., Donoso, J. P., & Ortíz, J. C. (2016). Estado de conocimiento y conservación de los anfibios de Chile: una síntesis de los últimos 10 años de investigación. *Gayana*, 80(1), 103-124. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382016000100011>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C. & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668-6672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>
- Díaz-Páez, H., & Canales-Arévalo, C. (2018). Effect of temperature and type of diet on the metamorphosis of pleurodema Thaul (Lesson, 1826) in a population of south-central Chile. *Animal Biodiversity and Conservation*, 41(1), 121-130. <https://doi.org/10.32800/abc.2018.41.0121>
- Emigdio, P. P. M. (1946). Algunos problemas de aclimatación. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 15(91), 95-99. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remevez/article/view/54105>
- Fernández, K. (1927). Sobre la biología y reproducción de batracios argentinos. Segunda parte. *Boletín de la Academia Nacional en Ciencias en Córdoba*, 29, 271-320.
- Ferraro, D. P. (2009). *Relaciones filogenéticas y biogeográficas de las especies del género Pleurodema (Amphibia: anura: leiuperidae)*. Universidad Nacional de La Plata.
- FitzGerald, G. J. & Bider, J. R. (1974). Influence of Moon Phase and Weather Factors on Locomotory Activity in *Bufo americanus*. *Oikos*, 25(3), 338. <https://doi.org/10.2307/3543953>
- Gilman, S., Wetthey, D. & Helmuth, B. (2006). "Variation in the sensitivity of organismal body temperature to climate change over local and geographic scales." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States* 103, 9560-9565.

- Glanville, E. J., & Seebacher, F. (2006). Compensation for environmental change by complementary shifts of thermal sensitivity and thermoregulatory behaviour in an ectotherm. *The Journal of Experimental Biology*, 209(24), 4869-4877. <https://doi.org/10.1242/jeb.02585>
- Grigaltchik, V. S., Ward, A. J. W. & Seebacher, F. (2012). Thermal acclimation of interactions: differential responses to temperature change alter predator–prey relationship. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1744), 4058-4064. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1277>
- Guevara-Molina, E. C., Gomes, F. R., & Camacho, A. (2020). Effects of dehydration on thermoregulatory behavior and thermal tolerance limits of *Rana catesbeiana*. *Journal of Thermal Biology*, 93(102721), 102721. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102721>
- Gutiérrez-Pesquera, L. M. (2015). Una valoración macrofisiológica de la vulnerabilidad al calentamiento global. Análisis de los límites de tolerancia térmica en comunidades de anfibios en gradientes latitudinales y altitudinales. *Researchgate*. <https://www.researchgate.net/publication/306240109>
- Heatwole, H., Blasini A. & Herrero, R. (1968). Calor de renacuajos de dos especies de anuros tropicales. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 27, 807-815.
- Hernández, R., Fernández, C. y Batista, P. (2010) Metodología de la investigación (5^a Edición), México: editorial Mc Graw-Hill
- Hillyard S.D. (1999). Behavioral, molecular, and integrative mechanisms of amphibian osmoregulation. *J Exp Zool* 283:662–674.
- Hitchcock, A. C., Connolly, Erin M., E. M., Darakananda, Karin, D. K., Jeong, Janet W., J. W., Quist, Arbor J.L, A. J. L., Robbins, Allison B., A. B., & Ellerby, David. J, D. J.

- (2017). *Locomotor and energetic consequences of behavioral thermoregulation in the sanguivorous leech Hirudo verbana*. Scopus.com.
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85012240388&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-0033825502&src=s&imp=t&sid=1b20cbe2de8b6ecafdf385d46f07bce7&sot=cite&dt=a&sl=0&relpos=7&citeCnt=1&searchTerm=>
- Hoffmann, E. P., Cavanaugh, K. L., & Mitchell, N. J. (2021). Low desiccation and thermal tolerance constrains a terrestrial amphibian to a rare and disappearing microclimate niche. *Conservation Physiology*, 9(1), coab027.
<https://doi.org/10.1093/conphys/coab027>
- Houlahan, J.E., Findlay, C.S., Schmidt, B.R., Meyer, A.H. & Kuzmin, S.L. (2000). Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature*, 404: 752–755.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198570875.001.1>
- Huey R. & Slatkin M. (1976). “Cost and benefits of lizard thermoregulation.” *The Quarterly Review of Biology*, 51, 363-384.
- Huey R.B. & Stevenson R.D. (1979) Integrating thermal physiology and ecology of ectotherms: A discussion of approaches. *Integrative and Comparative Biology*, 19, 357–366.
- Huey R.B., Kearney M.R., Krockenberger A., Holtum J.A.M., Jess M., & Williams S.E. (2012) Predicting organismal vulnerability to climate warming: roles of behaviour, physiology and adaptation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367, 1665– 1679.
- Huey, R. (1982). Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. *Biology of Reptilia*, Vol 12, *Physiological Ecology*. Academic Press, N. Y., 25-91.

- Huey, R. B., Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Vitt, L. J., Hertz, P. E., Álvarez Pérez, H. J. & Garland, T. (2009). Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1664), 1939-1948. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1957>
- Hutchison, V.H. & Dupre, R.K. (1992). Thermoregulation. Environmental Physiology of the Amphibia. University of Chicago Press, Chicago
- IPCC, (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Eds: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. & Waterfield, T. (Eds.). In Press
- Iturra-Cid, M., Vidal, M., Labra, A., & Ortiz, J. C. (2014). Thermal Ecology Of *Pleurodema thaul* (Amphibia: Leptodactylidae). *Gayana*, 78(1), 25–30. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382014000100004>
- Johnson, T. P., & Bennett, A. F. (1995). The thermal acclimation of burst escape performance in fish: An integrated study of molecular and cellular physiology and organismal performance. *The Journal of Experimental Biology*, 198(10), 2165–2175. <https://doi.org/10.1242/jeb.198.10.2165>
- Jørgensen, C.B. (1997). 200 años de economía del agua de los anfibios: desde Robert Townson hasta el presente. *Biol. rev.* 72, 153–237

- Kaufmann, K., & Dohmen, P. J. G. (2016). Adaption of a dermal in vitro method to investigate the uptake of chemicals across amphibian skin. *Environmental Sciences Europe*, 28(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0080-y>
- Kingsolver, J. G., Diamond, S. E. & Buckley, L. B. (2013). Heat stress and the fitness consequences of climate change for terrestrial ectotherms. *Functional Ecology*, 27(6), 1415-1423. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12145>
- Köchler, A. (2011). *Staying warm or moist? Operative temperature and thermal preferences of common frogs (Rana temporaria), and effects on locomotion.* <http://hdl.handle.net/%202263/19493>
- Labra, M., Soto-Gamboa, M. & Bozinovic, F. (2001). Behavioral and physiological thermoregulation of Atacama Desert – dwelling Liolaemus lizards. *Ecoscience*. 8 (14), 413-420.
- Lara-Reséndiz, R. A., Gadsden, H., Rosen, P. C., Sinervo, B., & Méndez-De la Cruz, F. R. (2015). Thermoregulation of two sympatric species of horned lizards in the Chihuahuan Desert and their local extinction risk. *Journal of Thermal Biology*, 48, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.11.010>
- Lara-Resendiz, R. A., Galina-Tessaro, P., Pérez-Delgadillo, A. G., Valdez-Villavicencio, J. H., & Méndez-de La Cruz, F. R. (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). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2888>
- Lawler, JJ., Shafer, SL. & Blaustein, AR. (2010). *Projected climate impacts for the amphibians of the western hemisphere.* *Conserv. Biol.* 24, 38–50. <https://doi.org/10.1111/>

- Lertzman-Lepofsky, G., Kissel, A. M., Sinervo, B., & Palen, W. J. (2020). Water loss and temperature interact to compound amphibian vulnerability to climate change. *Global Change Biology*, 26(9), 4868-4879. <https://doi.org/10.1111/gcb.15231>
- Lewis, D. B., & Eby, L. A. (2002). Spatially heterogeneous refugia and predation risk in intertidal salt marshes. *Oikos (Copenhagen, Denmark)*, 96(1), 119–129. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.960113.x>
- Liodden, O. J. (2017). Los signos del calentamiento global están por todas partes, y son más complejos que la mera subida de las temperaturas. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/cuales-son-los-efectos-del-calentamiento-global>
- Lobos, G., Vidal, M., Correa, C., Labra, A., Díaz – Páez, H., Charrier, A., Tala, C. (2013). Anfibios de Chile, Un desafío para la conservación. Santiago, Chile: Fundación Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y Red Chilena de Herpetología.
- Lutterschmidt W.I. & Hutchison V.H. (1997) The critical thermal 41 maximum: history and critique. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie*, 75, 1561–1574
- Manjarrez, J. (1994). Limitación térmica de la actividad en algunos anuros y reptiles como una estrategia ecológica (una revisión). *Ciencia Ergo sum, Vol. 1*, <https://dialnet.uniroja.es>.
- McDonnell, L. H. & Chapman, L. J. (2015). At the edge of the thermal window: effects of elevated temperature on the resting metabolism, hypoxia tolerance and upper critical thermal limit of a widespread African cichlid. *Conservation Physiology*, 3(1), cov050. <https://doi.org/10.1093/conphys/cov050>

- Méndez, M. & Correa-Solis, M. (2009). Divergence in morphometric and life history traits in two thermally contrasting Andean populations of *Rhinella spinulosa* (Anura: Bufonidae). *Journal of Thermal Biology*, 34(7), 342-347. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.06.006>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). Plan de adaptación al Cambio Climático en biodiversidad. URL: https://mma.gob.cl/wpcontent/uploads/2015/02/Plan_Adaptacion_CC_Biodiversidad_2.pdf
- Moyes, D. & Schulte P. (2007). “Principios de fisiología animal”. Pearson Educación S.A., Madrid. 766 pp.
- Navas, C. A., Gomes, F. R. & Carvalho, J. E. (2008). Thermal relationships and exercise physiology in anuran amphibians: Integration and evolutionary implications. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 151(3), 344-362. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2007.07.003>
- Navas, C. A., Úbeda, C. A., Logares, R., & Jara, F. G. (2010). Thermal tolerances in tadpoles of three species of Patagonian anurans. *South American Journal of Herpetology*, 5(2), 89–96. <https://doi.org/10.2994/057.005.0203>
- Nowakowski, A. J., Watling, J. I., Thompson, M. E., Bruschi, G. A., Catenazzi, A., Whitfield, S. M., Kurz, D. J., Suárez-Mayorga, N., Aponte-Gutiérrez, A., Donnelly, M. A. & Todd, B. D. (2018). Thermal biology mediates responses of amphibians and reptiles to habitat modification. *Ecology Letters*, 21(3), 345-355. <https://doi.org/10.1111/ele.12901>
- Pachauri R.K., Allen M.R., Barros V.R., Broome J., Cramer W., Christ R., Church J.A., Clarke L., Dahe Q., Dasgupta P., & others (2014) *Climate Change 2014: Synthesis*

Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Parnesan C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 37, 637–669.

Pereira, H. M., Leadley, P. W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J. P. W., Fernandez-Manjarrés, J. F., Araújo, M. B., Balvanera, P., Biggs, R., Cheung, W. W. L., Chini, L., Cooper, H. D., Gilman, E. L., Guénette, S., Hurtt, G. C., Huntington, H. P., Mace, G. M., Oberdorff, T., Revenga, C., . . . Walpole, M. (2010). Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. *Science*, 330(6010), 1496-1501. <https://doi.org/10.1126/science.1196624>

Perotti, M. G., Bonino, M. F., Ferraro, D. & Cruz, F. B. (2018). How sensitive are temperate tadpoles to climate change? The use of thermal physiology and niche model tools to assess vulnerability. *Zoology*, 127, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2018.01.002>

Pincheira-Donoso, D. (2002). Nota sobre la alimentación de *Pleurodema bufonina* bell, 1843 (Anura -- Leptodactylidae). *Gayana*, 66(1). <https://doi.org/10.4067/s0717-65382002000100011>

Pontes-da-Silva, E., Magnusson, W. E., Sinervo, B., Caetano, G. H., Miles, D. B., Colli, G. R., Diele-Viegas, L. M., Fenker, J., Santos, J. C. & Werneck, F. P. (2018). Extinction risks forced by climatic change and intraspecific variation in the thermal physiology of a tropical lizard. *Journal of Thermal Biology*, 73, 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.01.013>

Pörtner, H., Bennett, A. F., Bozinovic, F., Clarke, A., Lardies, M. A., Lucassen, M., Pelster, B., Schiemer, F., & Stillman, J. H. (2006). Trade-offs in thermal adaptation: the need

- for a molecular to ecological integration. *Physiological and Biochemical Zoology*, 79(2), 295-313. <https://doi.org/10.1086/499986>
- Ricardo, M. V. A. (2017). *Tasas de pérdida de agua por evapotranspiración en dos especies de anfibios ecuatorianos con hábitos ecológicos diferentes: Hypsiboas cinerascens (Anura: Hylidae) y Pristimantis unistrigatus (Anura: Craugastoridae)*. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13209>
- Ruiz-Aravena, M., Gonzalez-Mendez, A., Estay, S. A., Gaitán-Espitia, J. D., Barria-Oyarzo, I., Bartheld, J. L. & Bacigalupe, L. D. (2014). Impact of global warming at the range margins: phenotypic plasticity and behavioral thermoregulation will buffer an endemic amphibian. *Ecology and Evolution*, 4(23), 4467-4475. <https://doi.org/10.1002/ece3.1315>
- Sanabria, E. A., Quiroga, L. B., & Martino, A. L. (2011). Seasonal changes in the thermoregulatory strategies of *Rhinella arenarum* in the Monte desert, Argentina. *Journal of Thermal Biology*, 36(1), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.10.002>
- Schwenk, K., Padilla, D. K., Bakken, G. S. & Full, R. J. (2009). Grand challenges in organismal biology. *Integrative and Comparative Biology*, 49(1), 7-14. <https://doi.org/10.1093/icb/icp034>
- Secor, S. (2009). *Specific dynamic action: A review of the postprandial metabolic response*. Scopus.com. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-59449097586&origin=reflist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-0033825502&src=s&imp=t&sid=1b20cbe2de8b6ecafdf385d46f07bce7&sot=cite&dt=a&sl=0>

- Sinervo, B., Lara Reséndiz, R. A., Miles, D. B., Lovich, J. E., Ennen, J. R., Müller, J., Cooper, R. D., Rosen, P. C., Stewart, J. A. E., Santos, J. C., Sites, J. W., Jr, Gibbons, P. M., Goode, E. V., Hillard, L. S., Welton, L., Agha, M., Caetano, G., Vaughn, M., Meléndez Torres, C., ... Méndez de la Cruz, F. R. (2017). *Climate change and collapsing thermal niches of Mexican endemic reptiles*.
<https://escholarship.org/uc/item/4xk077hp>
- Sinervo, B., Méndez-de-la-Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Villagrán-Santa Cruz, M., Lara-Resendiz, R., Martínez-Méndez, N., Calderón-Espinosa, M. L., Meza-Lázaro, R. N., Gadsden, H., Avila, L. J., Morando, M., De la Riva, I. J., Sepulveda, P. V., Rocha, C. F. D., Ibarguengoytía, N., Puntriano, C. A., Massot, M., . . . Sites, J. W. (2010). Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches. *Science*, 328(5980), 894-899. <https://doi.org/10.1126/science.1184695>
- Sinervo, B., Miles, D. B., Martínez-Méndez, N., Lara-Resendiz, R., & Méndez-De la Cruz, F. R. (2011). Response to comment on “erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches”. *Science (New York, N.Y.)*, 332(6029), 537–537. <https://doi.org/10.1126/science.1195348>
- Somero G.N. (2005) Linking biogeography to physiology: evolutionary and acclimatory adjustments of thermal limits. *Front Zool*, 2, 1
- Southward A.J., Hawkins S.J., & Burrows M.T. (1995) 70 Years observations of changes in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the Western English-channel in relation to rising sea temperature. *Journal of thermal biology*, 20, 127–155.
- Stillman J.H. (2003) Acclimation capacity underlies susceptibility to climate change. *Science (New York, N.Y.)*, 301, 65

- Thorarensen, H., & Farrell, A. P. (2006). Postprandial intestinal blood flow, metabolic rates, and exercise in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Physiological and Biochemical Zoology: PBZ*, 79(4), 688–694. <https://doi.org/10.1086/505512>
- Titon, B., Navas, C. A., Jim, J., & Gomes, F. R. (2010). Water balance and locomotor performance in three species of neotropical toads that differ in geographical distribution. *Comparative Biochemistry and Physiology A-molecular & Integrative Physiology*, 156(1), 129-135. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.009>
- Tracy, C. R. (1976). A Model of the Dynamic Exchanges of Water and Energy between a Terrestrial Amphibian and Its Environment. *Ecological Monographs*, 46(3), 293-326. <https://doi.org/10.2307/1942256>
- Tracy, C. R., Christian, K. A., Burnip, N., Austin, B. J., Cornall, A., Iglesias, S., ... Le noëne, C. (2013). Thermal and hydric implications of diurnal activity by a small tropical frog during the dry season. *Austral Ecology*, 38(4), 476– 483. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2012.02416.x>
- Tracy, C., Christian, K., O’connor, M., & Tracy, C. (1993). Behavioral thermoregulation by *Bufo americanus*: The importance of the hydric environment. *Herpetologica*. <https://www.semanticscholar.org/paper/5b703233914bc0123ed771cc02bea8b417515f08>
- Úbeda, C. A. (1998) Batracofauna de los bosques templados patagónicos: un enfoque ecobiogeográfico. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires.
- Vasseur, D. A., DeLong, J. P., Gilbert, B., Greig, H. S., Harley, C. D. G., McCann, K. S., Savage, V., Tunney, T. D. & O’Connor, M. I. (2014). Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming. *Proceedings of the Royal Society*

- B: Biological Sciences, 281(1779), 20132612.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2612>
- Vidal, M. A., Barria-Oyarzo, I., Contreras, C. H., & Bacigalupe, L. D. (2020). Geography, Temperature, and Water: Interaction Effects in a Small Native Amphibian. *Physiological and Biochemical Zoology*, 93(5), 369-375.
<https://doi.org/10.1086/710537>
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389–395. <https://doi.org/10.1038/416389a>
- Weigandt, M., Úbeda, C.A. & Díaz, M. (2004). The larva of *Pleurodema bufoninum* Bell, 1843, with comments on its biology and on the egg strings (Anura, Leptodactylidae). *Amphibia- Reptilia*, 25, 429-437.
- Wells, KD. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*, 1st ed.; The University of Chicago Press: Chicago, IL, USA.
- Williams S.E., Shoo L.P., Isaac J.L., Hoffmann A.A., & Langham G. (2008) Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS biology*, 6, 2621–6.
- Wilson, R. S., & Franklin, C. E. (2000). Absence of thermal acclimatory capacity of locomotor performance in adults of the frog *Limnodynastes peronii*. *Comparative Biochemistry and Physiology A-molecular & Integrative Physiology*, 127(1), 21-28.
[https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(00\)00238-5](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(00)00238-5)
- Winter, M., Fiedler, W., Hochachka, W. M., Koehncke, A., Meiri, S. & De la Riva, I. (2016). Patterns and biases in climate change research on amphibians and reptiles: a

systematic review. *Royal Society Open Science*, 3(9), 160158.
<https://doi.org/10.1098/rsos.160158>

Xue, B., & Leibler, S. (2018). Benefits of phenotypic plasticity for population growth in varying environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(50), 12745–12750.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1813447115>

Yandún Vela, M. C. (2017). *Capacidad de aclimatación en renacuajos de dos especies de anuros: *Rhinella marina* (bufonidae) y *gastrotheca riobambae* (hemiphractidae) y su vulnerabilidad al cambio climático* [Licenciada en Ciencias Biológicas]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Anexo

Anexo 1. Tabla de medida resumen de valores a diferente aclimatación.

	Temperaturas de aclimatación	
	10°C	20°C
Ctmax (°C)		
Media ± DE	37,07 ± 1,40	36,55 ± 1,93
(Rango)	(34,80 - 38,60)	(33,80 - 39,20)
Ctmin (°C)		
Media ± DE	(-0,90) ± 0,70	(-0,24) ± 0,72
(Rango)	(-1,60 - 0,20)	(-1,80 - 0,80)
RTT		
Media ± DE	37,97 ± 1,62	36,79 ± 1,92
(Rango)	(36,00 - 40,20)	(34,00 - 39,80)