



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Biología

Efectos del cambio climático en la distribución potencial de *Liolaemus tenuis* (Duméril & Bibron, 1837) bajo diferentes escenarios de cambio climático global

Memoria de título para optar al grado de Licenciada en Educación en Biología y Pedagogía en
Biología con mención Ciencias Naturales

Vania Constanza Ramírez Vicencio

Profesores Guía: Marcial Beltrami Boisset y Reinaldo Vargas Castillo

Santiago – Chile
2024



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Biología

Efectos del cambio climático en la distribución potencial de *Liolaemus tenuis* (Duméril & Bibron, 1837) bajo diferentes escenarios de cambio climático global

Memoria de título para optar al grado de Licenciada en Educación en Biología y Pedagogía en
Biología con mención Ciencias Naturales

Vania Constanza Ramírez Vicencio

Profesores Guía: Marcial Beltrami Boisset y Reinaldo Vargas Castillo

Aprobada:

Profesor/a guía : _____ **Fecha** : _____

Profesor/a corrector : _____ **Fecha** : _____

Profesor/a corrector : _____ **Fecha** : _____

Aprobada:

Director/a del

Departamento de Biología : _____ **Fecha** : _____

Santiago – Chile
2024

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	i
Índice de figuras	iii
Índice de tablas	iv
Resumen	v
Introducción.....	1
1. Diversidad y distribución de reptiles en Chile	1
2. Descripción de la especie <i>Liolaemus tenuis</i>	3
3. Modelos de Distribución de Especies y Trayectorias Socioeconómicas Compartidas	7
Planteamiento del problema	11
Hipótesis del trabajo	13
Objetivos.....	14
1. Objetivo general	14
2. Objetivos específicos	14
Materiales y Métodos	15
1. Registros de ocurrencia	15
2. Selección de Variables.....	15
3. Selección de Modelos de Circulación Global y escenarios socio económicos	16
4. Modelado de distribución actual y futura.....	16
Resultados.....	19
1. Registros de ocurrencia	19
2. Selección de Variables.....	21
2.1. Set de Variables 1: Bioclimáticas y Ambientales	21
2.2. Set de Variables 2: Bioclimáticas.....	23
3. Selección de Modelos de Circulación Global y escenarios socio económicos	24

4. Modelado de distribución actual	24
4.1. Modelado Set 1.....	24
4.2. Modelado Set 2.....	27
5. Proyecciones para el período 2080-2100.....	30
5.1. Proyecciones espaciales futuras	30
5.1.1. MPI	31
5.1.2. MIROC6	33
5.2. Variación de la ocupación espacial en el tiempo.	35
Discusión	36
Conclusión.....	40
Referencias	42

Índice de figuras

Figura 1. Coloración anterior y posterior de ejemplar macho de <i>Liolaemus tenuis</i> . Fuente: iNaturalist Chile - Claudio Maureira.	4
Figura 2. Comparación de largo y grosor de cola entre ejemplares macho y hembra de <i>Liolaemus tenuis</i> . Fuente: iNaturalist Chile.	4
Figura 3. ejemplar macho de <i>Liolaemus tenuis</i> , variante de mentón rojo. Fuente: iNaturalist Chile - Mauro Arriagada.....	5
Figura 4. Coloración de ejemplar hembra de <i>Liolaemus tenuis</i> . Fuente: iNaturalist Chile - Cristian Trejos.	5
Figura 5. Hembra de <i>Liolaemus tenuis</i> alimentándose. En la imagen se observa la franja de color amarillento entre el ojo y el oído que poseen las hembras.....	6
Figura 6. Proyección de las emisiones globales hasta el año 2100 según los escenarios presentados en las SSP. Fuente: Escoto et al., 2017.....	9
Figura 7. Cinco tipos de escenarios basados en las SSP, con diferentes retos socioeconómicos de mitigación y adaptación. Fuente: Escoto et al., 2017.	10
Figura 8. Registros de presencia de <i>Liolaemus tenuis</i>	19
Figura 9. Proyección espacial de la extensión de la presencia de <i>Liolaemus tenuis</i>	20
Figura 10. Matriz de correlación de variables seleccionadas para el Set 1.	22
Figura 11. Matriz de correlación de variables seleccionadas para el Set 2.	23
Figura 12. Mapas de distribución de <i>Liolaemus tenuis</i> a tiempo presente en función del Set 1. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.	26
Figura 13. Mapas de distribución de <i>Liolaemus tenuis</i> a tiempo presente en función del Set 2. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.	29
Figura 14. Mapas de distribución potencial de <i>Liolaemus tenuis</i> para el escenario SSP1 2.6. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.	31
Figura 15. Mapas de distribución potencial de <i>Liolaemus tenuis</i> para el escenario SSP5 8.5. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.	32
Figura 16. Mapas de distribución potencial de <i>Liolaemus tenuis</i> para el escenario SSP1 2.6. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.	33
Figura 17. Mapas de distribución potencial de <i>Liolaemus tenuis</i> para el escenario SSP5 8.5. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.	34

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de VIF entre las variables del Set 1.....	22
Tabla 2. Valores de VIF entre las variables del Set 2.....	24
Tabla 3. Resultados ajuste de modelos estadísticos utilizados.....	25
Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre modelos estadísticos utilizados.	25
Tabla 5. Resultados ajuste de modelo combinado obtenido a partir del Set 1.	26
Tabla 6. Contribución porcentual de las variables del Set 1 al modelo.....	27
Tabla 7. Resultados ajuste de modelos estadísticos utilizados.....	27
Tabla 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre modelos estadísticos utilizados.	28
Tabla 9. Resultados ajustes de modelo combinado obtenido a partir del Set 2.....	28
Tabla 10. Contribución porcentual de cada variable del Set 2 al modelo.	29
Tabla 11. Resultados de proyecciones binarias para cada GCM y escenario socioeconómico.	30
Tabla 12. Modificaciones en el rango distribucional de la especie.	35

Resumen

Liolaemus tenuis (Duméril & Bibron 1837) es una especie nativa de Chile, conocida desde las regiones de Coquimbo a los Ríos, caracterizada por poseer poblaciones estacionarias y de baja movilidad. En Chile la especie ha sido clasificada en preocupación menor (LC) a pesar de la alteración de su hábitat natural, particularmente por la eliminación de árboles y arbustos que utiliza como zonas de percha. Para estimar su distribución actual, y proyectar el efecto del cambio climático en su distribución futura, construimos modelos distribucionales conjuntos sobre la base de 8 algoritmos diferentes, a tiempo presente y futuro para el período 2081-2100 utilizando dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP126 y SSP585) y 3 diferentes modelos de circulación global. Para el proceso de modelación se utilizaron presencias documentadas en diferentes bases de datos en línea y publicaciones recientes. Los modelos obtenidos sugieren una expansión del área potencial de ocupación de la especie, asumiendo un aumento de su distribución sur y hacia el este (Argentina), y con una reducción del área potencial distribucional en el extremo norte de la distribución de la especie.

Palabras Clave: *Liolaemus*, cambio climático, Chile central.

Introducción

1. Diversidad y distribución de reptiles en Chile

La clase Reptilia se constituye como uno de los grupos de vertebrados ectotermos más diversos en cuanto a forma, color, hábitos, historias de vida y ambientes donde habitan (Demangel, 2016). En la actualidad, desde la perspectiva taxonómica tradicional o Linneana (Hickman et al., 2009), esta clase de vertebrados está representada por cuatro órdenes correspondientes a: Testudines (tortugas), Rhynchocephalia (tuataras), Crocodylia (cocodrilos) y Squamata (lagartos, serpientes, anfisbénidos). A la fecha, se han contabilizado 1.253 géneros y un total de 11.900 especies, aproximadamente (Uetz, 2023). Sin embargo, el reconocimiento y clasificación de las especies reptilianas supone dificultades, debido a que en la naturaleza los reptiles no poseen formas y patrones de coloración constantes en una misma especie, siendo la morfología externa una de las principales fuentes de información taxonómica utilizada. Además, las diferencias y similitudes entre las distintas especies pueden ser bastante sutiles, lo que deriva en diferentes posturas sobre la validez taxonómica de divisiones intra e interespecíficas (Demangel, 2016). Por tanto, es esperable asumir que el status taxonómico de muchos de los taxa pertenecientes a este grupo, particularmente en Chile, cambien en el corto y mediano plazo (Díaz-Paéz et al., 2008; Ruiz, 2016; Uetz, 2000; Veloso et al., 1995).

En cuanto a su distribución, estas se hallan ubicadas principalmente en las regiones tropicales y subtropicales del globo, ocupando una gran variedad de hábitats. No obstante, su abundancia declina rápidamente hacia las zonas polares y de grandes alturas (Demangel, 2016; Storer et al., 1986).

En Chile, específicamente, se han contabilizado 113 especies correspondientes a lagartos, serpientes y tortugas marinas (Demangel, 2016; Vidal, 2008), las que se encuentran distribuidas prácticamente en todas las regiones ecológicas conocidas, tanto de Chile insular (Isla de Pascua y el Archipiélago de Juan Fernández), cómo de Chile continental. En este último, las especies se distribuyen desde el límite norte del país (aproximadamente a los 17°30'S) hasta Tierra del Fuego (53°30'S), y desde el nivel del mar hasta los 3000-4500 m.s.n.m, en el límite de la vegetación de los macizos cordilleranos (Vidal, 2008; Veloso et al., 1995). Sin embargo, la mayor riqueza específica de especies de reptiles se concentra en las zonas Norte y Centro del

país, entre las regiones de Antofagasta y Biobío (Díaz-Paéz et al., 2008). En estas zonas se observa un predominio de clima desértico a mediterráneo, así como una alta aridez, registrando promedios anuales de temperatura equivalentes a 16°C, entre 50-60% de humedad relativa y 0-10 mm de precipitación. Dichas características climáticas aparentemente favorecen una mayor colonización de hábitats por parte de los organismos de la clase Reptilia y, por tanto, se observa un mayor patrón de riqueza de la herpetofauna chilena (Vidal, 2008).

Así mismo, dentro de la riqueza conocida en Chile, existe un fuerte predominio de las formas terrestres (Veloso et al., 1995), específicamente de lagartos, los que han alcanzado un alto grado de diversificación y colonización de múltiples ecosistemas (Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005). De estos, el género *Liolaemus* (Wiegmann, 1834) representa al grupo de lagartos más ampliamente distribuido en Chile y con una de las mayores riquezas de especies, con 296 especies aproximadamente para sudamérica, como a nivel nacional, donde se reconoce la presencia de entre 95 a 105 especies (Abdala & Quinteros, 2014; Torres & Lamborot, 2008; Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005; Veloso et al., 1995; Uetz, 2023).

Junto con lo anterior, los representantes del género se caracterizan por poseer un alto polimorfismo morfológico y una gran versatilidad ecológica (Abdala & Quinteros, 2014; Donoso-Barros, 1966; Scolaro, 2006). Esta última producto de la considerable ocupación de nichos ecológicos y la enorme distribución geográfica en la que habitan, encontrando representantes en una amplia variedad de ecosistemas tanto altoandinos, desérticos como patagónicos (Donoso-Barros, 1966; Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005). Dichas características han contribuido a que en la actualidad sean objeto de interés para el desarrollo de investigaciones desde variadas ópticas de la biología, tanto a nivel nacional como en el extranjero (Abdala & Quinteros, 2014; Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005; Veloso et al., 1995).

En Chile, el género *Liolaemus* está representado por aproximadamente 105 especies (Uetz, 2023), dentro de las cuales se encuentran especies como *Liolaemus tenuis* (Duméril y Bibron, 1837), *L. curis* (Nuñez & Labra, 1985), *L. lemniscatus* (Gravenhorst 1838), *L. magellanicus* (Hombron & Jacquinot, 1847), *L. nitidus* (Wiegmann, 1834), *L. pictus* (Duméril & Bibron, 1837), *L. chiliensis* (Lesson, 1830), entre otras. Así también, es posible encontrar a las diferentes especies del género habitando en distintos tipos de sustratos (arborícolas, arenícolas, saxícolas),

asociadas a diferentes especies de plantas y presentando una variedad en los tipos de dietas (desde herbívoros estrictos a omnívoros).

2. Descripción de la especie *Liolaemus tenuis*

Liolaemus tenuis (Duméril y Bibron, 1837), conocida como lagartija esbelta, lagartija de jardín o lagartija de colores, corresponde a una especie nativa característica de la fauna chilena con amplia distribución y alta abundancia (Donoso-Barros, 1966). Esto dado a que, en sectores como Río Clarillo, se ha registrado una abundancia relativa de un 12% (99 individuos corresponden a *L. tenuis* de 807 lagartijas observadas) y un 16,6% en el Cerro La Campana (35 individuos de 211 lagartijas observadas) (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

Así también, la especie habita en bosques, ambientes de matorral, zonas agrícolas y urbanas ocupando grandes rocas, cercos, muros y vegetación de tamaño variable (Demangel, 2016), la cual es utilizada como sitio de alimentación y de asentamiento para los harenes conformados por los machos con sus respectivas hembras (Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005).

Junto a ello, la especie habita en un gradiente altitudinal de 0-1800 m.s.n.m, a lo largo de las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, Libertador Bernardo O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío, La Araucanía y Los Ríos (Demangel, 2016.; Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005). Dado su amplio rango de distribución y su abundancia en el país, la especie no satisface criterios de UICN 3.1 para asignarle una categoría de amenaza (extinta, en peligro crítico, en peligro o vulnerable), motivo por el cual se le ha categorizado en “preocupación menor” (LC) en el octavo proceso de clasificación de especies del Ministerio del Medio Ambiente (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

De igual forma, *Liolaemus tenuis* alcanza una longevidad promedio de 10 años, posee un sistema de apareamiento poligínico con modalidad de reproducción ovípara y una dieta insectívora estricta, consumiendo principalmente coleópteros y dípteros (Donoso-Barros, 1966; Demangel, 2016). Así también, dentro de sus características morfológicas, esta se describe con un tamaño mediano entre los 12 y 15 centímetros aproximadamente, con extremidades delgadas y dedos largos (Ministerio del Medio Ambiente, 2012). Los sexos de la especie presentan un acentuado dimorfismo sexual una vez alcanzado el estado adulto (Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005).

Los machos adultos se diferencian por poseer una piel colorida, en la cual se disponen escamas amarillas y verdes en la parte anterior, para luego comenzar a ser reemplazadas en la porción media del cuerpo por escamas azules, celestes y verde turquesa (**Figura 1**) (Donoso-Barros, 1966). Así también, los machos poseen una cola larga y gruesa, con manchas negras alternadas que contrastan con el fondo calipso de la piel (**Figura 2**) (Scolaro, 2006). El mentón o zona gular es de un tono amarillo, verde o, en algunos casos, anaranjado rojizo (**Figura 3**) y su abdomen es de un color blanco grisáceo (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).



Figura 1. Coloración anterior y posterior de ejemplar macho de *Liolaemus tenuis*. Fuente: iNaturalist Chile - Claudio Maureira.



Figura 2. Comparación de largo y grosor de cola entre ejemplares macho y hembra de *Liolaemus tenuis*. Fuente: iNaturalist Chile.



Figura 3. ejemplar macho de *Liolaemus tenuis*, variante de mentón rojo. Fuente: iNaturalist Chile - Mauro Arriagada.

Por su parte, a diferencia del macho, las hembras no presentan dicho color vivo e intenso de la piel y presentan un aspecto más estilizado. Así también, las hembras presentan una cabeza de tono levemente más oscuro que el torso y el cuerpo está provisto de numerosas y pequeñas manchas amarillas y negras (**Figura 4**). Sobre su cuello se visualizan bandas transversales negras con contornos irregulares, las cuales se originan en la región superior de los flancos en forma independiente cada una (Pincheira-Donoso & Núñez, 2005; Ministerio del Medio Ambiente, 2012). Entre el ojo y el oído presentan una franja de color amarillento ribeteada de café oscuro (**Figura 5**) y su vientre, al igual que el del macho, es grisáceo blanquecino (Donoso-Barros, 1966).



Figura 4. Coloración de ejemplar hembra de *Liolaemus tenuis*. Fuente: iNaturalist Chile - Cristian Trejos.



Figura 5. Hembra de *Liolaemus tenuis* alimentándose. En la imagen se observa la franja de color amarillento entre el ojo y el oído que poseen las hembras.

3. Modelos de Distribución de Especies y Trayectorias Socioeconómicas Compartidas

La distribución geográfica de una especie en un área determinada es la expresión compleja de su ecología e historia evolutiva (Brown et al., 1996) y está determinada por diversos factores que operan a diferentes intensidades y escalas (Ortíz-Yusty et al., 2014). De igual forma, y desde un contexto de nicho fundamental, la ocurrencia de una especie en un área específica está definida por la combinación óptima de múltiples variables ambientales que permiten su supervivencia y viabilidad (Hutchinson, 1957). De esta forma, diferentes áreas que presenten una combinación similar de estas variables potencialmente permitirían la presencia de dicha especie, generando así su distribución potencial (Anderson & Martínez-Meyer, 2004).

Dentro de este marco, en los últimos 15 años se han desarrollado numerosos modelos matemáticos que permiten maximizar el conocimiento sobre los patrones espaciales y temporales de la biodiversidad (Elith et al., 2006; Naoki et al., 2006), así como generar predicciones de la ocurrencia de una o varias especies en una determinada área de interés (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011; Pinzon & Spence, 2013). Dichos modelos se conocen como Modelos de Distribución de Especies (SDM por su sigla en inglés) o modelos de nicho. Estos modelos corresponden a representaciones espaciales de la idoneidad de un área para la presencia de una especie determinada en función de variables empleadas para generar dicha representación (Guisan et al., 2017; Mateo et al., 2011). La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores (Guisan et al., 2017). Estas variables suelen ser geológicas, topográficas o climáticas, y se espera que, con algunas de ellas, individualmente o en combinación, se puedan definir los factores ambientales que delimiten las condiciones favorables para la presencia de la especie (Mateo et al., 2011; Pinzon & Spence, 2013)

En la actualidad el enfoque más comúnmente presentado en los trabajos de modelos de distribución de especies, corresponden a aquellos dentro del marco de diferentes escenarios de cambio climático (e.g. Arriaga & Gómez, 2019; (Bickford et al., 2010; (Guitérrez & Trejo, 2014; (Rodríguez-Craverro et al., 2017). Esto con el fin de responder a las interrogantes sobre los posibles efectos que éste tendría sobre los ecosistemas, y en particular sobre la abundancia de las especies y sus patrones de distribución geográfica (González et al., 2003).

De este modo, para la simulación del clima en diversas ventanas de tiempo se emplean los denominados Modelos de Circulación General (GCM por sus siglas en inglés). Estos modelos simulan un conjunto de procesos acoplados en un código computacional que calcula la solución a ecuaciones diferenciales de movimiento de fluidos y termodinámica, para obtener valores dependientes del tiempo y del espacio para variables como temperatura, vientos, humedad y presión de la atmósfera (Bustamante, 2017; Bambach et al., 2019).

Así, para la simulación del clima futuro, los GCM son forzados principalmente por distintos escenarios que representan fluctuaciones en las concentraciones de gases atmosféricos, antropogénicos y naturales, tales como los gases de efecto invernadero. No obstante, uno de los informes más recientes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2022) señala que, más allá de las fluctuaciones naturales, el futuro del estado del clima y sus variaciones dependerán de las emisiones antropogénicas pasadas y futuras (Escoto et al., 2017).

De esta forma, y dado que la trayectoria de emisiones antropogénicas, como los gases de efecto invernadero y otras forzantes para el futuro, no son conocidas, se evalúan distintas características tanto físicas, biológicas y químicas del sistema terrestre, así como también aspectos socioculturales, económicos y demográficos para establecer escenarios de emisiones plausibles en base a supuestos combinados de todas las variables anteriores (Bambach et al., 2019).

En este contexto, si bien la contribución humana en el cambio climático global es clara, se plantea que las transformaciones sociales futuras también tendrán un impacto (Escoto et al., 2017). Es por esto que en el año 2006 la comunidad científica comenzó el desarrollo de un nuevo conjunto de escenarios con una visión interdisciplinaria contemplando las dimensiones del cambio social (Ebi et al., 2014; O'Neil et al., 2014). Estos escenarios socioeconómicos o futuros alternativos de desarrollo se presentan en las llamadas Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (Shared Socioeconomic Pathways o SSP por sus siglas, O'Neil et al., 2014).

Las SSP describen tendencias alternativas plausibles en la evolución de la sociedad y los sistemas naturales durante el siglo XXI a nivel mundial (O'Neil et al., 2013). A su vez, las SSP están formuladas a partir de dos elementos: una trama narrativa y un conjunto de medidas cuantificadas de desarrollo (Bauer et al., 2017). Así, las narrativas o argumentos cualitativos

describen la evolución de aspectos de la sociedad que son difíciles de proyectar cuantitativamente, como, por ejemplo, la calidad de las instituciones, la estabilidad política, la conciencia ambiental, desigualdad social, entre otras (Escoto et al., 2017; O'Neil et al., 2014). Mientras tanto las variables cuantitativas proporcionan supuestos comunes para elementos como crecimiento poblacional, desarrollo económico y tecnológico (O'Neil et al., 2014). Elementos que inciden sobre los niveles de emisiones (**Figura 6**) y que, a su vez, pueden afectar los impactos del cambio climático (Escoto et al., 2017).

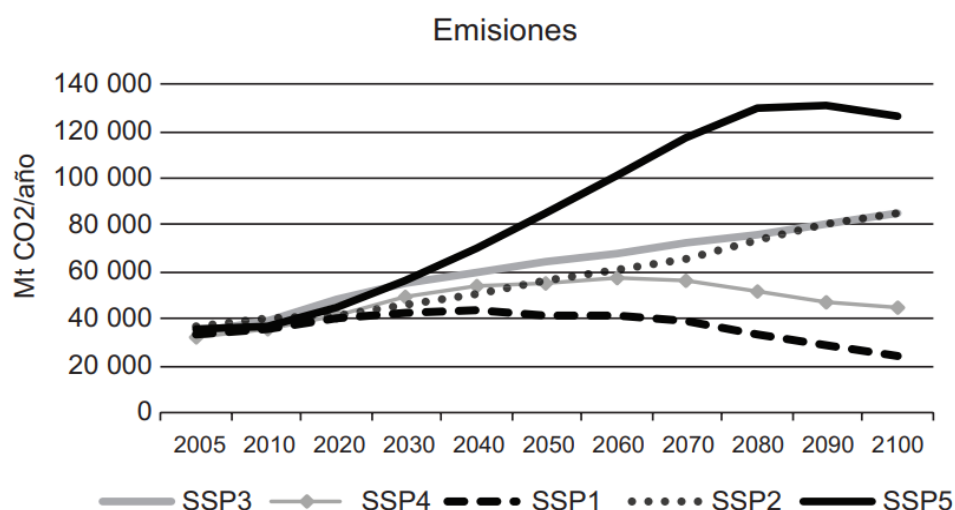


Figura 6. Proyección de las emisiones globales hasta el año 2100 según los escenarios presentados en las SSP. Fuente: Escoto et al., 2017.

De esta forma se determinan cinco escenarios ilustrativos: SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP3-4.5, SSP4-7.0 y SSP5-8.5. Cada uno de estos SSP deriva de la acumulación de energía calórica en la atmósfera, medido en W/m^2 . Así, cada uno describe los desafíos para la adaptación y la mitigación en distintos grados (**Figura 7**), donde SSP1-1.9 asume un aumento promedio de 1.9 W/m^2 , siendo el escenario más auspicioso que presume una fuerte reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. Por otro lado, el SSP5-8.5 asume una acumulación media de 8.5 W/m^2 atmosférico, con nulas o bajas acciones de mitigación de emanaciones de gases de efecto invernadero, siendo el escenario más pesimista (Riahi et al., 2017).

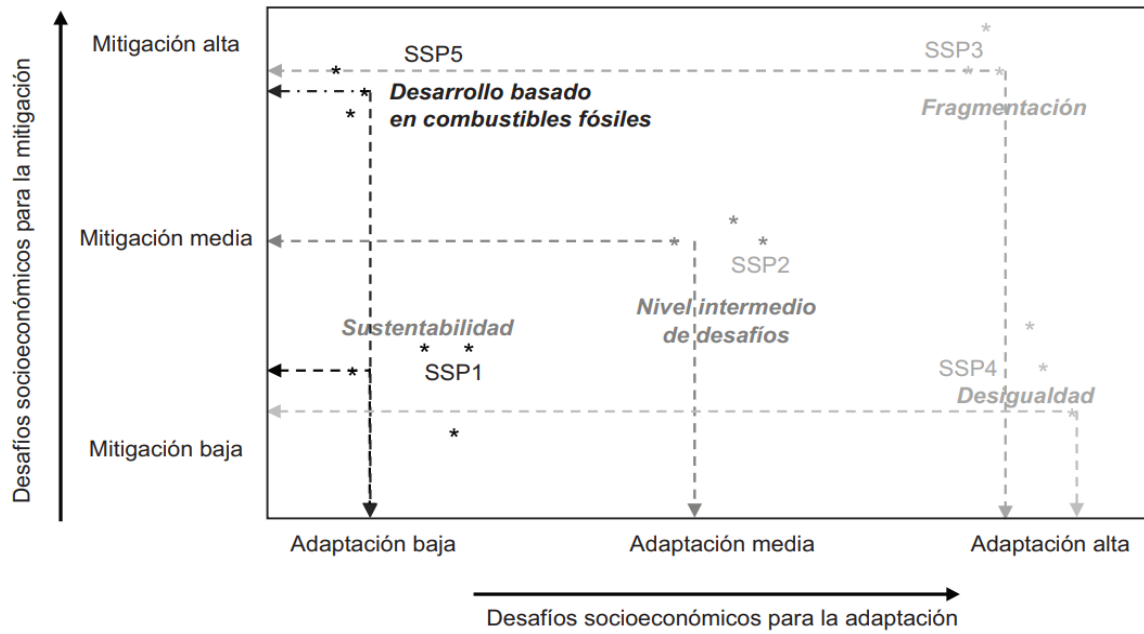


Figura 7. Cinco tipos de escenarios basados en las SSP, con diferentes retos socioeconómicos de mitigación y adaptación. Fuente: Escoto et al., 2017.

Planteamiento del problema

El clima es definido como el conjunto de condiciones atmosféricas promedio, representativas de una localidad, y es el resultado de la interacción de elementos físicos de la atmósfera con atributos geográficos y biológicos propios de un territorio (González et al., 2003; Meza, 2019). Cuando se examinan registros atmosféricos prolongados, resulta evidente que el clima cambia de forma significativa a diferentes escalas temporales, de siglos a cientos de miles de años, en respuesta a diversos factores naturales (Garreaud, 2011). No obstante, existen factores de origen antropogénico que contribuyen a cambios en las condiciones climáticas globales (e.g., quema de combustibles fósiles) (IPCC, 2022; Ministerio del Medio Ambiente, 2017), incrementado la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre y provocando un calentamiento del planeta (Arriaga & Gómez, 2019; Dossier Cepsa, 2015; González, et al., 2003; Garreaud, 2011).

En este contexto, el reciente calentamiento del planeta ha inducido una serie de respuestas biológicas y ecológicas en plantas y animales (Marquet et al., 2019). Aunque el efecto del cambio climático global no será homogéneo en todas las zonas geográficas (Ortíz-Yusty et al., 2014), se plantea que una de las respuestas tendientes de los organismos para evadir las condiciones climáticas cambiantes corresponde a las modificaciones en sus rangos de distribución geográfica (Marquet et al., 2019).

De igual forma, se ha sugerido que los animales ectotermos (e.g., reptiles) son particularmente sensibles al cambio climático debido a la alteración de su nicho térmico (Lara et al., 2019; Lara-Resendiz et al., 2019), donde variaciones extremas de las condiciones climáticas afectan ampliamente aspectos biológicos como sus patrones de actividad, la determinación sexual en ciertas especies (cocodrilos, tortugas y algunos lagartos) y el éxito de incubación, lo que podría incrementar el riesgo de extinción de ciertas especies o su desaparición de zonas marginales de su rango de distribución moderno (Lara et al., 2019; Lara-Resendiz et al., 2019; Ortiz-Yusty et al., 2014).

Por su parte, desde el punto de vista climático, Chile posee una multiplicidad de climas que se deben fundamentalmente a su gran extensión latitudinal y variación altitudinal (Marquet et al., 2019; Luebert & Plischoff, 2018). Dentro de los principales climas que podemos encontrar en Chile, se encuentra el clima desértico, estepárico, mediterráneo, templado, marítimo, de tundra

y polar (Meza, 2019), favoreciendo la presencia de una amplia variedad de ecosistemas que permiten el desarrollo de una gran biodiversidad.

Por su parte, si bien las investigaciones sobre los efectos del cambio climático global en los ecosistemas y la biodiversidad nacional siguen siendo escasas, existe evidencia de que los cambios ya han comenzado y que continuarán con el correr de este siglo (IPCC, 2022; Marquet et al., 2019). Así, modelos predictivos bajo diferentes escenarios de emisiones de CO₂, muestran que, si la temperatura global continúa aumentando y las precipitaciones continúan disminuyendo en gran parte del país, el paisaje chileno será muy diferente al actual, con grandes cambios en la distribución de los ecosistemas y de las especies tanto nativas como exóticas (Marquet et al., 2019).

Así, bajo este marco resulta relevante evaluar los posibles efectos del cambio climático en la distribución de la diversidad herpetológica del territorio nacional como es el caso de *Liolaemus tenuis*, una especie nativa característica de la fauna chilena que habita actualmente en un gradiente altitudinal de 0-1800 m.s.n.m, entre las regiones de Coquimbo y Los Ríos (Demangel, 2016; Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005). Estas regiones se ubican en la zona centro sur del país, caracterizado por presentar un predominio de clima mediterráneo a templado con condiciones climáticas moderadas combinado con precipitaciones que se incrementan notablemente hacia el sur (Luebert & Plischoff, 2006; Meza, 2019)

Junto a ello, *Liolaemus tenuis* al ser un organismo ecotermo, presenta una alta dependencia hacia fuentes térmicas externas estables para la adquisición y mantención de una temperatura corporal dentro de un intervalo óptimo (Labra et al., 2008; Lara et al., 2019). Esta característica puede verse fuertemente comprometida producto de las oscilaciones de variables ambientales, ocasionadas por el cambio climático global. De este modo, es esperable que las modificaciones espaciales de temperatura media en Chile impliquen un cambio en el área de ocupación de *Liolaemus tenuis*, afectando, y potencialmente reduciendo, sus rangos de distribución conocidos.

Hipótesis del trabajo

La distribución geográfica de *Liolaemus tenuis* (Duméril & Bibron, 1837) en Chile se verá reducida bajo diferentes escenarios futuros de cambio climático global.

Objetivos

1. Objetivo general

Evaluar los posibles cambios distribucionales de *Liolaemus tenuis* (Duméril & Bibron, 1837) bajo diferentes escenarios de cambio climático futuro.

2. Objetivos específicos

- 2.1. Caracterizar el estado de conocimiento distribucional actual de *Liolaemus tenuis* en Chile.
- 2.2. Modelar la distribución actual de *Liolaemus tenuis*.
- 2.3. Proyectar la distribución futura de *Liolaemus tenuis* bajo diferentes escenarios futuros de cambio climático global.

Materiales y Métodos

Para modelar y proyectar los cambios distribucionales de la especie *Liolaemus tenuis* a tiempo presente y bajo diferentes escenarios de cambio climático global, se establecieron diferentes acciones, las que se describen a continuación:

1. Registros de ocurrencia

Para caracterizar el estado de conocimiento distribucional actual de *Liolaemus tenuis*, se recolectaron datos de presencia de la especie. Para esto, se extrajo el listado de localidades georreferenciadas de Chile y Argentina presentadas en los trabajos de Victoriano et al. (2008) y Muñoz-Mendoza et al. (2017). De igual forma, se obtuvieron datos de la ficha de clasificación de especie realizada por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2012), así como los registros de presencia registrados en el Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

2. Selección de Variables

Se construyeron 2 set de datos para el modelado de la distribución actual. El primer set consistió en una nube de 27 variables en total, que incluyó variables de tipo bioclimáticas obtenidas de WorldClim en su versión 2.1, variables topográficas de primer orden obtenidas de Amatulli et al. (2020); y las variables ambientales NDVI (normalized difference vegetation index), VPD (Vapour pressure deficit), GPP (gross primary production) y NPP (net primary production) obtenidas desde la plataforma Google Earth Engine, sobre la base de datos satelitales, para las medias de los años 2001 al 2015.

Mientras tanto el segundo set de datos sólo consideró las 19 variables bioclimáticas que describen el clima para el período 1970-2000, obtenidas desde WorldClim (<https://worldclim.org/>, versión 2.1).

Todas las variables, tanto del Set 1 como del Set 2, fueron construidas y escaladas a resoluciones de 30 segundos arco ($\sim 1 \text{ km}^2$), con el datum WGS84. Asimismo, la extensión de las variables fue recortada a un polígono formado por los límites superiores e inferiores de latitud y longitud de los registros, con un buffer de 5 grados.

De ambos sets de datos, se seleccionaron las combinaciones de variables que presentaran valores de correlación de Pearson bajo 0,7, y valores de colinealidad utilizando el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) menores a 10, tanto en la información de las variables en las ocurrencias

conocidas, como en la extensión total de las capas rasterizadas. La selección de variables y su procesamiento fueron realizados en su totalidad en la plataforma R v4.1.3.

3. Selección de Modelos de Circulación Global y escenarios socio económicos

Para estimar los mejores modelos de circulación general para el proceso de modelación y proyección futura del clima, se utilizó la herramienta GCMeval (Parding et al., 2020). Esta permite la evaluación de escenarios climáticos futuros sobre la base de su semejanza y diferencia con el estado actual de las zonas geográficas a evaluar.

Junto con lo anterior, se obtuvieron proyecciones para el clima futuro ante escenarios de cambio climático global para el período de tiempo de 2081-2100, y se utilizaron dos Trayectorias Socioeconómicas Compartidas, las que corresponden a SSP1 2.6 y SSP5 8.5. Estos SPP representan dos escenarios de emisión de GEI completamente opuestos, donde por un lado SSP1 2.6 corresponde a un escenario optimista, describiendo prácticas globales sostenibles con una marcada reducción en la emanación de GEI. Por su parte, SSP5 8.5 corresponde a un escenario más pesimista, describiendo un desarrollo económico mundial con alta demanda energética y explotación de combustibles fósiles (IPCC 2023).

4. Modelado de distribución actual y futura

Para el proceso de modelación se utilizó el paquete SSDM y los paquetes sobre los que depende (Schmitt et al., 2017) en el lenguaje de programación R. Este paquete y sus dependencias entregan una plataforma sobre la que se pueden realizar todas las etapas del proceso de modelación, incluyendo la normalización de las variables, la reducción de la colinealidad y la correlación espacial entre los registros, así como permitir la ejecución y ajuste de los parámetros de diferentes estrategias de modelación.

De esta forma, para modelar la distribución de *Liolaemus tenuis* a tiempo presente, se utilizó una estrategia de apilado de modelos individuales, o ESDM (ensemble species distribution modelling), por sus siglas en inglés. En esta estrategia, se crean modelos distribucionales para la especie utilizando diferentes algoritmos, cuyos resultados son comparados entre sí. Si estos cumplen con los umbrales de semejanza (determinados por un coeficiente de correlación de Pearson), los modelos son apilados y promediados, generando un modelo final que corresponde a la media de todas las proyecciones espaciales.

Así también, para hacer una correcta evaluación del ajuste de los modelos, estos fueron generados utilizando validación cruzada (cross-validation), en donde el 70% de las ocurrencias fueron seleccionadas de manera azarosa para construir los modelos, y el 30% restante fueron utilizados para probar los modelos resultantes. Este procedimiento se replicó 10 veces por cada algoritmo, implementados todos a través del paquete SSDM y sus dependencias, correspondientes a: generalized additive models (GAM), Multivariate adaptive regression splines (MARS), generalized boosted models (GBM), classification tree analysis (CTA), random forests (RF), artificial neural networks (ANN) y support vector machine (SVM).

El proceso de modelación, además, permite obtener valores de correlación entre los resultados de los modelos individuales, así como valores de ajuste, tales como el cálculo del área bajo la curva (AUC) de la respuesta operativa del modelo (*response of the operative curve*, o ROC, por sus siglas en inglés). El valor de AUC está comprendido entre 0 y 1; donde un valor igual a 1 indica que todos los casos (ocurrencias) se han clasificado correctamente y uno de 0.5 indica que el modelo no es diferente de clasificar los casos al azar. Valores menores a 0.5 indican que el modelo clasifica erróneamente más casos que lo que se esperaría por azar.

De igual forma, el proceso de modelación permite obtener otros valores de ajuste como la especificidad (entendida como la proporción de verdaderos negativos) y sensibilidad (proporción de verdaderos positivos) de cada modelo. Estos, en conjunto, permiten estimar el True Skill Statistic (TSS). Esta es una medida de ajuste obtenida a partir de la suma de la especificidad y la sensibilidad, menos 1. Valores negativos de TSS indican modelos de baja capacidad explicativa y que no son mejores que estimaciones al azar. Valores cercanos a 0 indican un modelo que no discrimina bien los datos, y valores cercanos a 1 indican modelos con una alta capacidad predictiva y, por tanto, altamente ajustados.

Una vez contruidos los modelos, se obtienen proyecciones espaciales determinadas por el ajuste de los modelos individuales y combinados. Por un lado, se obtiene una proyección espacial probabilística continua, con valores entre el 0 y el 1, siendo 1 la máxima probabilidad de ocurrencia de la especie. Junto con esto, se obtiene una proyección binaria, indicando presencia y ausencia de la especie en el espacio geográfico evaluado. Este modelo binario representa todas las áreas con presencia estimada de la especie que supere el umbral del TSS

calculado. Este valor dependerá de la construcción y ajuste de los modelos individuales y combinados.

Finalmente, en el caso del Set 2, una vez se generaron modelos que cumplan con los umbrales de ajuste, estos fueron proyectados a los escenarios futuros utilizando el modelo matemático construido a tiempo presente, pero con datos de los escenarios futuros seleccionados.

Resultados

1. Registros de ocurrencia

La matriz de registros de ocurrencia de *Liolaemus tenuis* cuenta con un total inicial de 1.643 registros. De estos, se realizó una depuración con el fin de eliminar localidades inciertas, datos repetidos y aquellos registros sin datos geográficos.

Posterior a la depuración se obtuvo un total de 1.330 registros de presencia, los que fueron utilizados para generar la proyección espacial de la distribución actual de la especie. En la **Figura 8** se presentan los registros finales utilizados para la modelación. De igual manera, se estimó la Extensión de Presencia (EOO) en base a los registros antes mencionados, obteniendo un polígono de 184.804 km² (**Figura 9**).

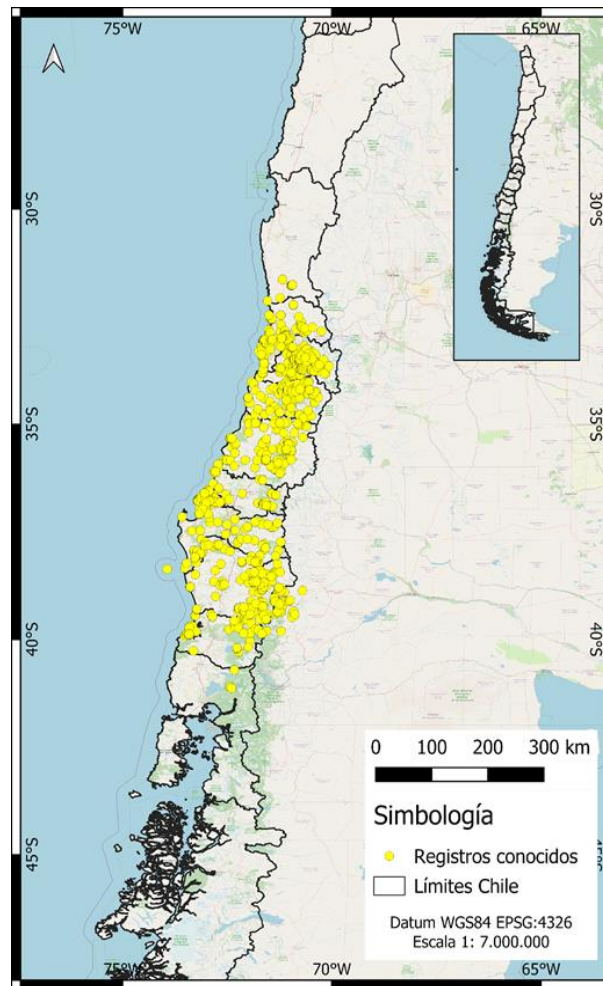


Figura 8. Registros de presencia de *Liolaemus tenuis*.

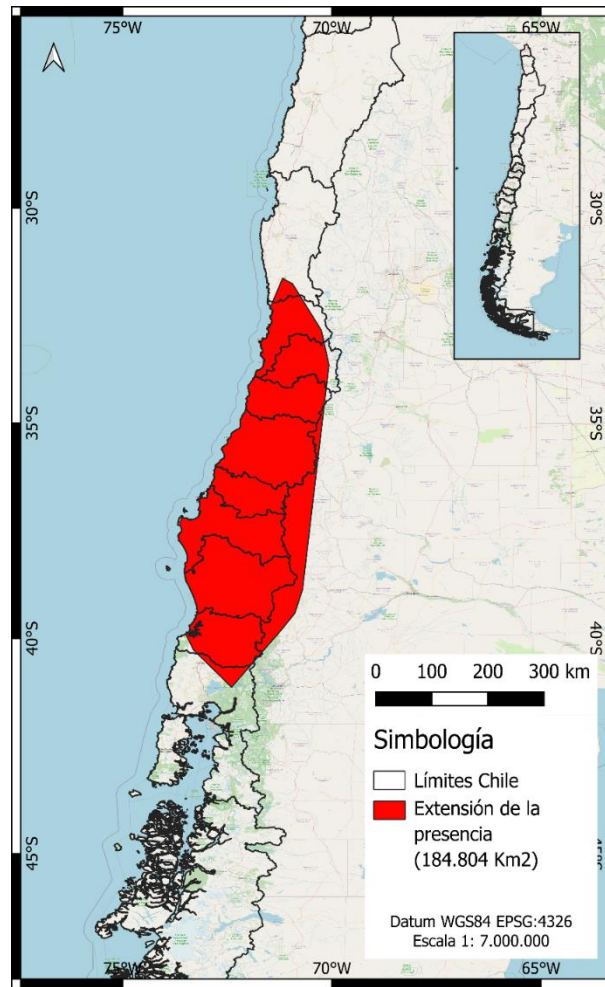


Figura 9. Proyección espacial de la extensión de la presencia de *Liolaemus tenuis*.

2. Selección de Variables

Una vez realizado el procedimiento de selección de variables a partir de los valores de correlación y colinealidad, las variables de mayor contribución en los análisis para cada set correspondieron a:

2.1. Set de Variables 1: Bioclimáticas y Ambientales

1. altitud: medida en metros sobre el nivel del mar.
2. aspect: orientación espacial media del píxel con valores entre 0 y 360°.
3. Bio02: Rango medio diurno de temperatura.
4. Bio03: Isotermalidad.
5. Bio08: Temperatura media del trimestre más húmedo.
6. NDVI: Índice de diversidad vegetal normalizado.
7. Slope: Pendiente media del píxel, medida en %.
8. TPI: Índice de posición topográfica, indica la media de la formación geomorfológica del píxel.

En la **Figura 10** es posible observar los valores de coeficiente de correlación de Pearson entre las variables seleccionadas, tanto en sus valores positivos como negativos. Mientras que en la Tabla 1 se presentan los valores de colinealidad dado por el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) de cada variable.

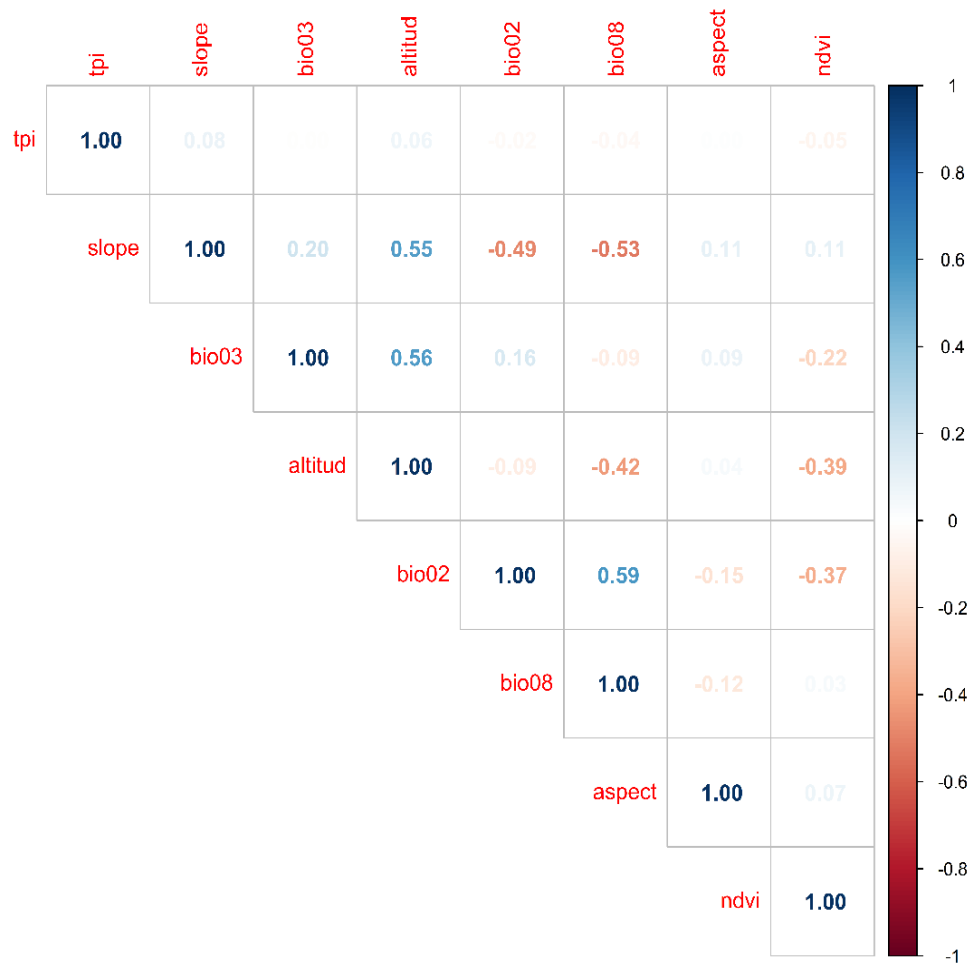


Figura 10. Matriz de correlación de variables seleccionadas para el Set 1.

Tabla 1. Valores de VIF entre las variables del Set 1.

N	Variables	VIF
1	Altitud	2.54
2	Aspect	1.04
3	Bio02	2.54
4	Bio03	1.54
5	Bio08	1.89
6	NDVI	1.66
7	Slope	2.30
8	TPI	1.01

2.2. Set de Variables 2: Bioclimáticas

1. Bio02: Rango medio diario de temperatura.
2. Bio03: Isotermalidad.
3. Bio08: Temperatura media del trimestre más húmedo.
4. Bio13: precipitación del mes más húmedo.

En la **Figura 11** se presentan los valores de coeficiente de correlación de Pearson entre las variables seleccionadas para el Set 2, tanto en sus valores positivos como negativos. Mientras que en la Tabla 2 se presentan los valores de VIF de cada variable.

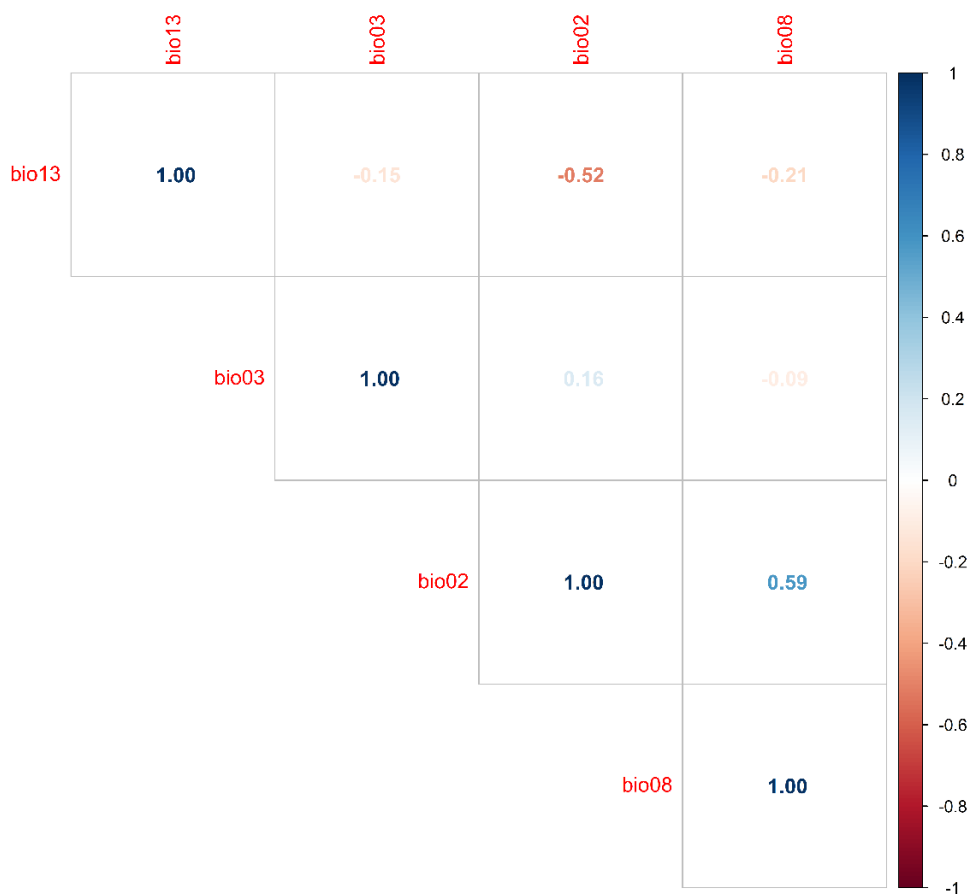


Figura 11. Matriz de correlación de variables seleccionadas para el Set 2.

Tabla 2. Valores de VIF entre las variables del Set 2.

N	Variables	VIF
1	bio02	2.13
2	bio03	1.25
3	bio08	2.22
4	bio13	2.27

3. Selección de Modelos de Circulación Global y escenarios socio económicos

A partir del ranking generado por la herramienta GCMeval, se seleccionaron dos Modelos de Circulación General para el área estudio, que considera la extensión de las ocurrencias más un buffer de 5°, correspondientes a MPI (Max- Plank Institute, MPI-ESM1-1-HR) y la sexta versión del modelo MIROC (Model for Interdisciplinary research on Climate, MIROC6). Estos GCM fueron evaluados a partir de las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas SSP1 2.6 y SSP5 8.5. Las capas espaciales de estos GCM fueron obtenidas desde WorldClim v2.1.

4. Modelado de distribución actual

4.1. Modelado Set 1

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las 7 estrategias de modelación implementadas a partir del Set 1 de variables. Se observa que RF fue la estrategia con la media más ajustada, con un valor de AUC equivalente a 0.97 promedio de las 10 repeticiones, seguida por GAM y MARS con valores de 0.95 promediado para las 10 repeticiones de cada uno. Mientras que la estrategia menos ajustada correspondió a GBM, con un valor promedio de 0.91. De igual forma, los valores de TSS más alto corresponden a RF con un valor promedio de 0.86. Mientras que el menor valor corresponde a GBM, seguido por CTA.

Estos datos son indicativos de que, si bien la media de algunos modelos fue más ajustada que otros, todos fueron capaces de estimar efectivamente la distribución de los registros de presencia de la especie de un modo más efectivo que de haber sido estimados azarosamente.

Tabla 3. Resultados ajuste de modelos estadísticos utilizados.

Modelo	AUC	Sensibilidad	Especificidad	TSS
GAM	0.95	0.96	0.88	0.84
MARS	0.95	0.96	0.88	0.84
GBM	0.91	0.94	0.81	0.75
CTA	0.92	0.94	0.85	0.79
RF	0.97	0.97	0.89	0.86
ANN	0.93	0.96	0.87	0.83
SVM	0.94	0.97	0.87	0.84

De igual forma, para evaluar la incertidumbre en las estimaciones individuales de cada modelo a partir del Set 1, se analizó el coeficiente de correlación de Pearson entre modelos (Tabla 4). Así, las combinaciones GBM-GAM y GBM-MARS presentan los valores más bajos de correlación equivalentes a 0.75, seguido por ANN-GBM con un coeficiente de correlación igual a 0.79. Esto indica diferencias en los umbrales de semejanza entre los modelos resultantes generados entre estas estrategias de modelación. No obstante, todos los valores de correlación indican correlaciones fuertes entre las estimaciones medias de cada uno de los modelos.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre modelos estadísticos utilizados.

	GAM	MARS	GBM	CTA	RF	ANN	SVM
GAM	1.00						
MARS	0.93	1.00					
GBM	0.75	0.75	1.00				
CTA	0.85	0.87	0.83	1.00			
RF	0.89	0.90	0.82	0.93	1.00		
ANN	0.82	0.86	0.79	0.84	0.93	1.00	
SVM	0.90	0.91	0.80	0.92	0.94	0.89	1.00

Así también, en la Tabla 5 se presentan los valores de AUC y TSS correspondientes al modelo combinado final. Se observa un alto valor medio de AUC equivalente a 0.94 y un TSS de 0.82. Esto indicaría que el modelo está altamente ajustado a los datos y variables empleadas.

Tabla 5. Resultados ajuste de modelo combinado obtenido a partir del Set 1.

AUC	Sensibilidad	Especificidad	TSS
0.94	0.96	0.86	0.82

Finalmente, el resultado obtenido del modelo apilado a partir del Set 1 fue proyectado al espacio geográfico, generando así la proyección espacial binaria y probabilística de la distribución actual de la especie, las que se presentan en la **Figura 12**. Junto con esto, en la **Tabla 6** se presentan los valores medios de contribución de cada variable para la elaboración de los modelos presentes.

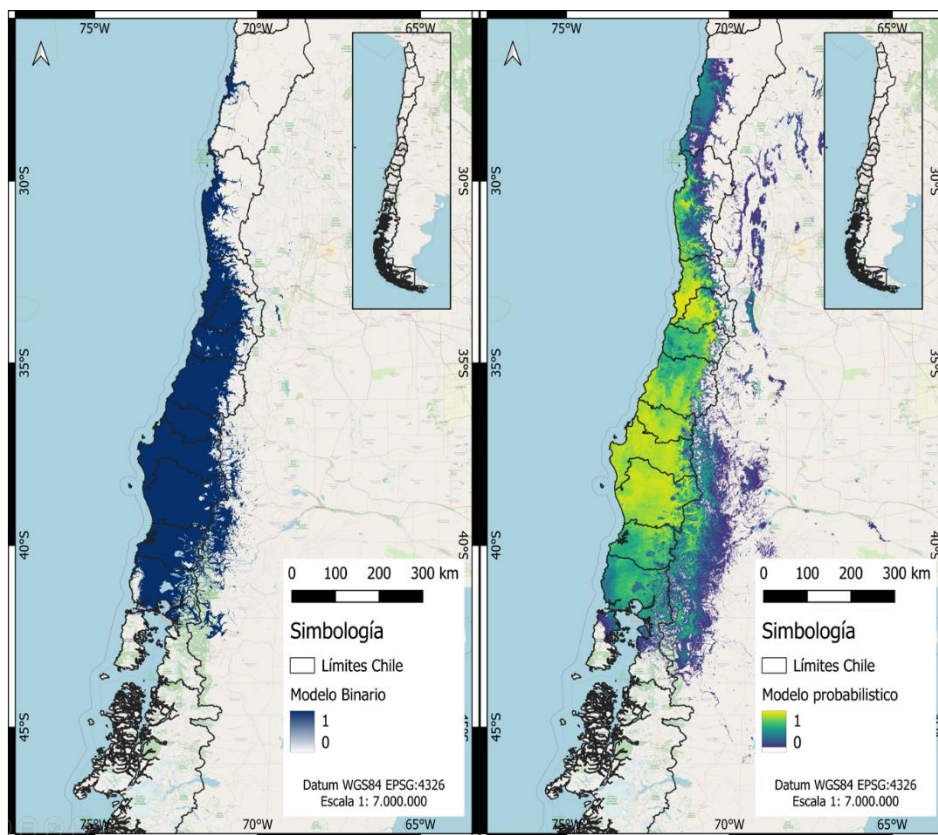


Figura 12. Mapas de distribución de *Liolaemus tenuis* a tiempo presente en función del Set 1. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.

Tabla 6. Contribución porcentual de las variables del Set 1 al modelo.

Variable	Altitud	Aspect	Bio02	Bio03	Bio08	NDVI	Slope	TPI
Aporte	7.48	3.70	10.65	24.77	24.47	23.07	3.05	2.82

4.2. Modelado Set 2

Para medir el ajuste de los modelos individuales y del modelo apilado final se replicó el proceso de análisis estadístico presentado para los modelos del Set 1.

De esta forma, en la **Tabla 7** se observan los valores de AUC y TSS de cada una de las 7 estrategias de modelación. Es posible observar que RF presenta nuevamente el mayor valor promedio de las 10 iteraciones de AUC, equivalente a 0.98, seguido por MARS y GAM, los que presentan un valor de AUC promedio igual a 0.96. Junto a ello, se observan los valores de TSS, siendo mayor en RF y menor en GBM, con valores de 0.88 y 0.8 respectivamente.

Tabla 7. Resultados ajuste de modelos estadísticos utilizados.

Modelo	AUC	Sensibilidad	Especificidad	TSS
GAM	0.96	0.98	0.89	0.87
MARS	0.96	0.98	0.89	0.87
GBM	0.93	0.97	0.83	0.8
CTA	0.94	0.96	0.88	0.84
RF	0.98	0.97	0.91	0.88
ANN	0.95	0.98	0.88	0.86
SVM	0.95	0.99	0.88	0.87

Así también, en la **Tabla 8** se presentan los valores del coeficiente de correlación de Pearson de cada modelo utilizando el Set 2. Se observa que las combinaciones GBM-GAM y ANN-GBM presentan los valores más bajos de correlación, equivalentes a 0.85, seguido por RF-GBM con un coeficiente de correlación igual a 0.86. No obstante, todos los valores de correlación entre las medias de los modelos indican una correlación fuerte entre sus proyecciones.

Tabla 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre modelos estadísticos utilizados.

	GAM	MARS	GBM	CTA	RF	ANN	SVM
GAM	1.00						
MARS	0.93	1.00					
GBM	0.85	0.89	1.00				
CTA	0.87	0.91	0.92	1.00			
RF	0.90	0.94	0.86	0.92	1.00		
ANN	0.88	0.94	0.85	0.90	0.96	1.00	
SVM	0.92	0.97	0.88	0.90	0.94	0.94	1.00

En la **Tabla 9** se presentan los valores de AUC y TSS correspondientes al modelo combinado final para este set. Se observa un alto valor medio de AUC equivalente a 0.95 y un TSS de 0.85. Esto indicaría que el modelo está altamente ajustado a los datos y variables empleadas.

Tabla 9. Resultados ajustes de modelo combinado obtenido a partir del Set 2.

AUC	Sensibilidad	Especificidad	TSS
0.95	0.97	0.88	0.85

Finalmente, el resultado obtenido del modelo apilado a partir del Set 2 fue proyectado al espacio geográfico, generando así la proyección espacial binaria y probabilística de la distribución actual de la especie, las que se presentan en la **Figura 13**. Junto con lo anterior, en la **Tabla 10** se observan los valores de contribución porcentual de cada variable climática para este modelo.

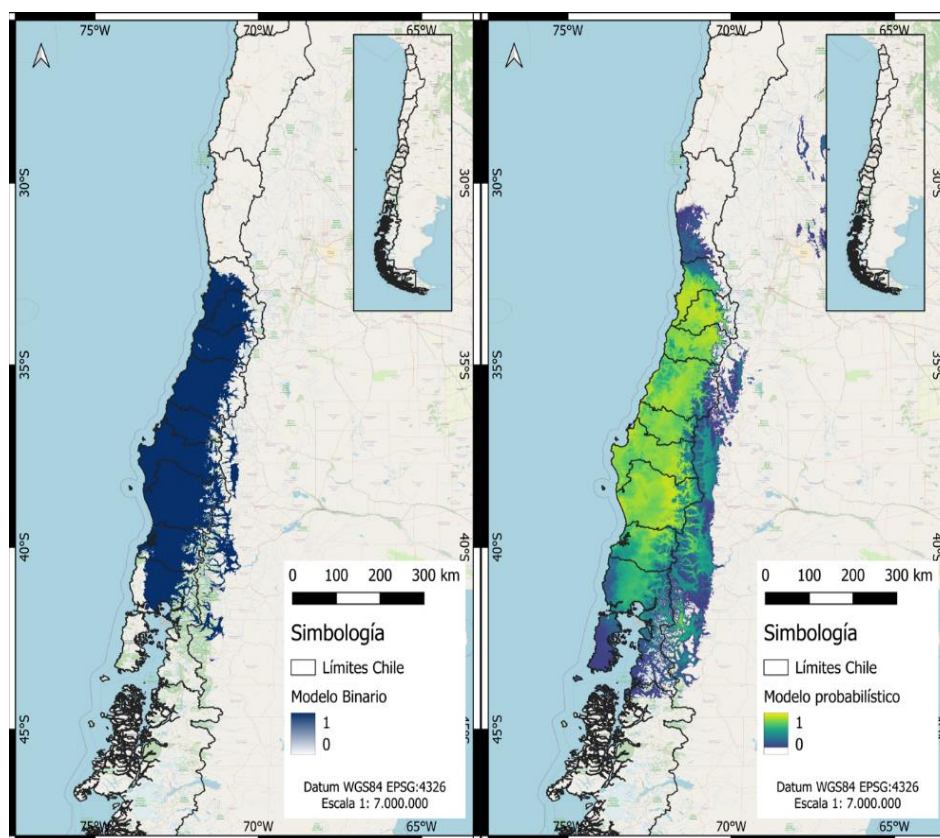


Figura 13. Mapas de distribución de *Liolaemus tenuis* a tiempo presente en función del Set 2. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.

Tabla 10. Contribución porcentual de cada variable del Set 2 al modelo.

Variable	Bio02	Bio03	Bio08	Bio13
Aporte	7.77	9.66	35.57	47.00

5. Proyecciones para el período 2080-2100

5.1. Proyecciones espaciales futuras

Para el modelado de la distribución futura de *Liolaemus tenuis*, proyectada en el período de tiempo de 2081-2100, se evaluaron ambos Modelos de Circulación General, MPI y MIROC6, para las Trayectorias Socioeconómicas SSP1 2.6 y SSP5 8.5. Para cada proyección se construyeron mapas de ocupación potencial binaria, con umbrales establecidos por cada modelo de manera individual, junto con valores de ajuste de los modelos y el área estimada (**Tabla 11**). Asimismo, se construyeron proyecciones probabilísticas utilizando como umbral el valor probabilístico de presencia mínima obtenido por el set de entrenamiento (o Minimum training presence, MTP, por sus siglas en inglés). Este valor corresponde a la probabilidad mínima de presencia de la especie, el cual es obtenido en un punto con presencias conocidas de la especie, y, por tanto, asume la ausencia de la especie para valores inferiores a este, las que se incluyen en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Resultados de proyecciones binarias para cada GCM y escenario socioeconómico.

GCM	Escenario	Umbral	AUC	TSS	Área (km ²) modelo binario	Área (km ²) modelo probabilístico
MPI	SSP 2.6	0.55	0.95	0.85	159.580	309.156
	SSP 8.5	0.55	0.95	0.85	162.090	311.905
MIROC6	SSP 2.6	0.55	0.95	0.85	164.013	304.464
	SSP 8.5	0.55	0.95	0.85	174.540	338.428

Las proyecciones espaciales de la distribución potencial de *L. tenuis* generadas por cada modelo se presentan gráficamente a continuación:

5.1.1. MPI

En la **Figura 14** se observan los mapas de distribución potencial binomial y probabilística de *L. tenuis* bajo el escenario socioeconómico SSP1 2.6 generados para el modelo de circulación general MPI.

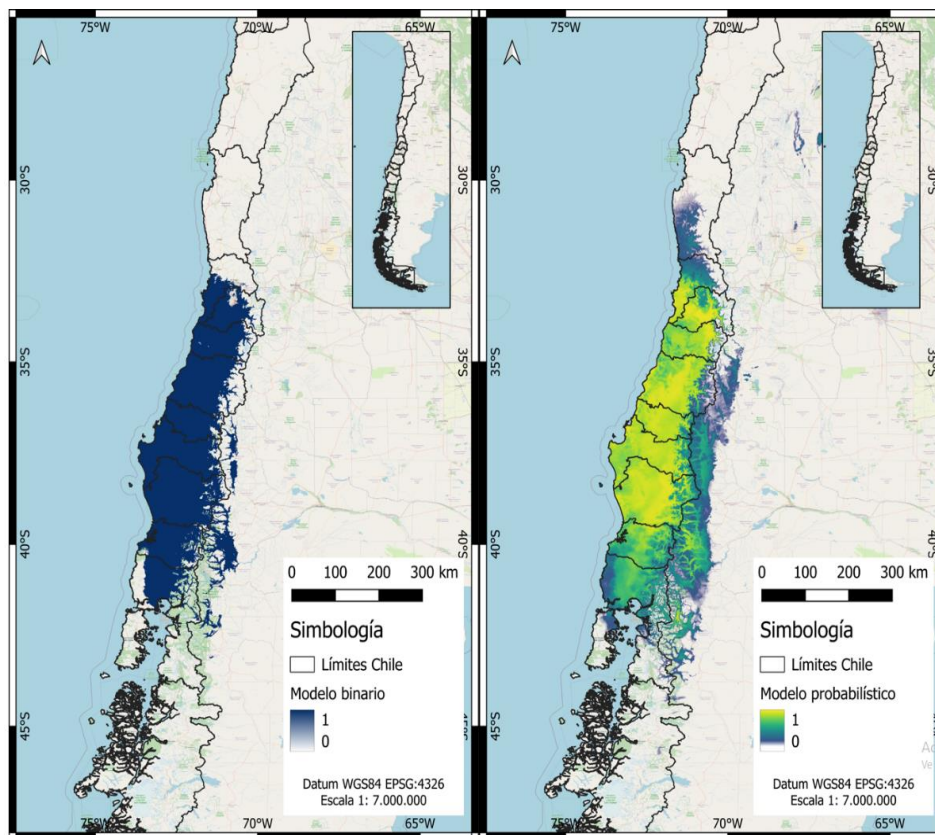


Figura 14. Mapas de distribución potencial de *Liolaemus tenuis* para el escenario SSP1 2.6. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.

A su vez, la **Figura 15** muestra los mapas de distribución potencial binomial y probabilística de la especie bajo el escenario socioeconómico SSP5 8.5 para el modelo de circulación general MPI.

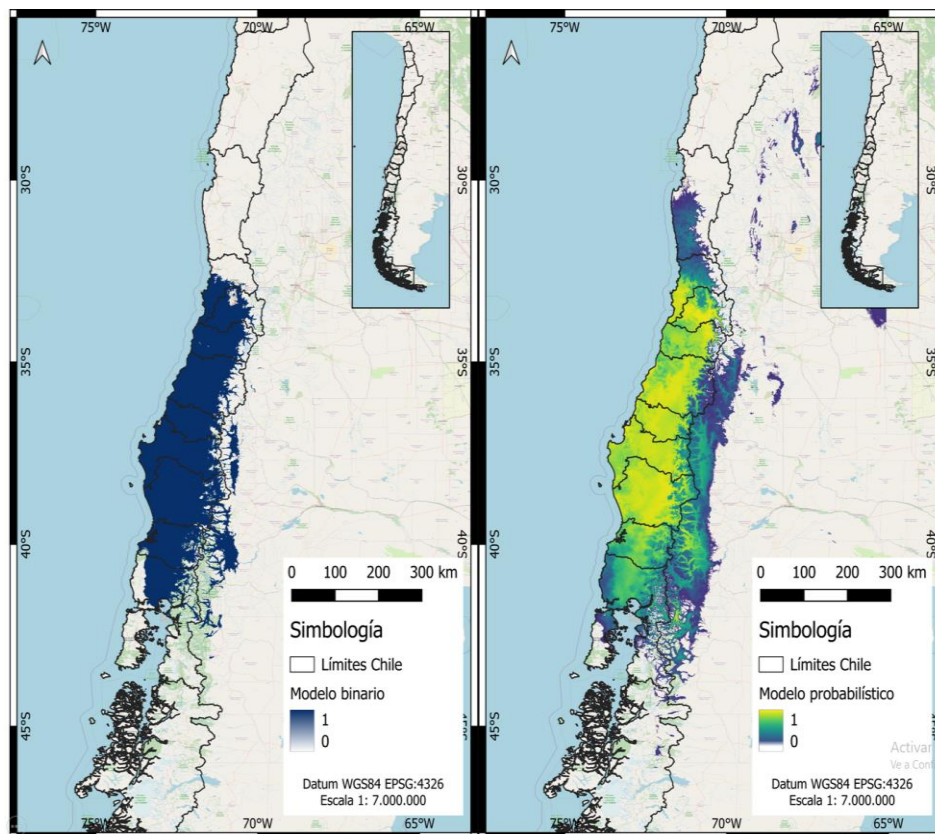


Figura 15. Mapas de distribución potencial de *Liolaemus tenuis* para el escenario SSP5 8.5. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.

5.1.2. MIROC6

En la **Figura 16** se presentan los mapas de distribución potencial binomial y probabilístico de *L. tenuis* bajo el escenario socioeconómico SSP1 2.6 generados para el modelo de circulación general MIROC6.

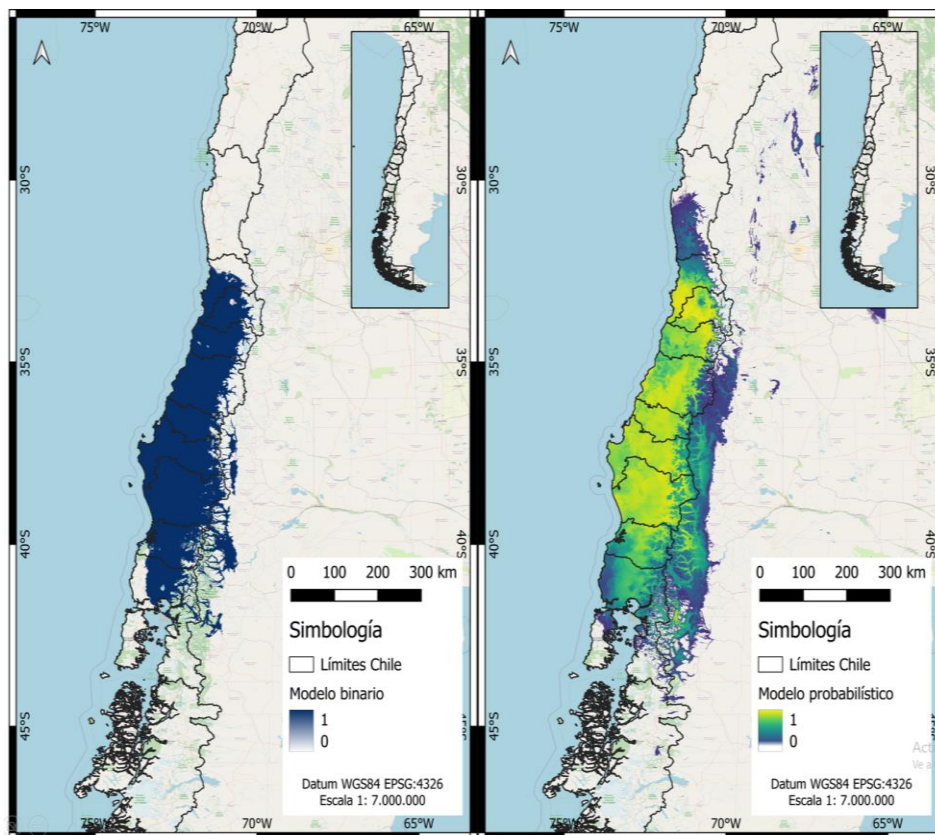


Figura 16. Mapas de distribución potencial de *Liolaemus tenuis* para el escenario SSP1 2.6. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.

Así también, la **Figura 17** presenta los mapas de distribución potencial binomial y probabilístico de *L. tenuis* generados bajo el escenario socioeconómico SSP5 8.5.

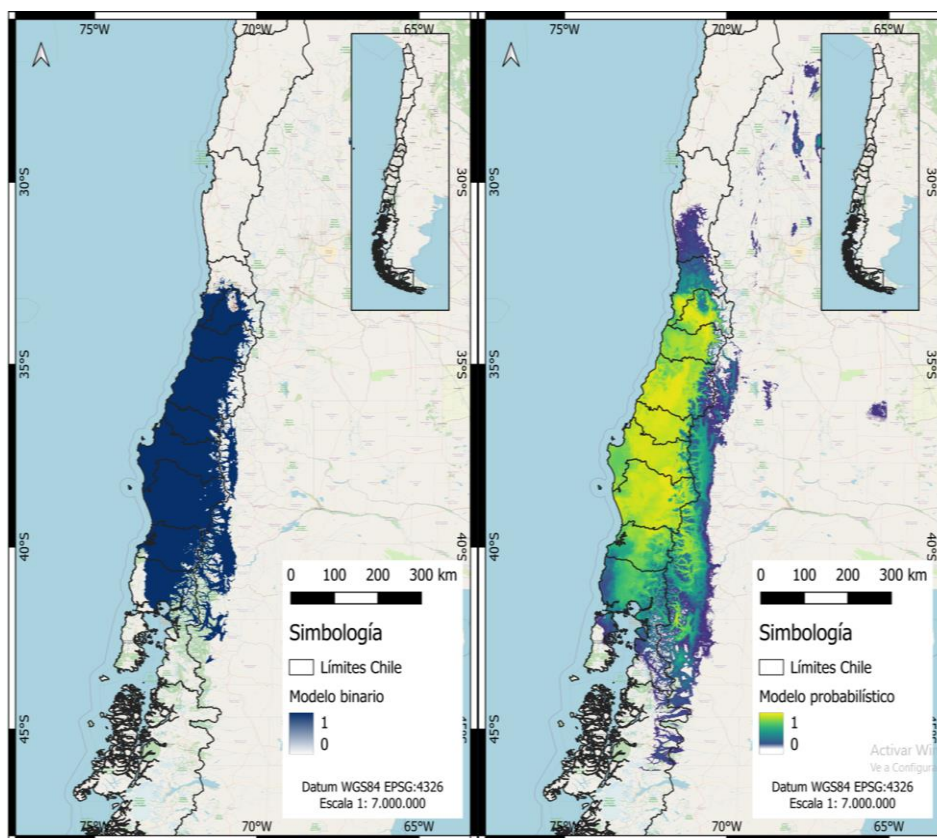


Figura 17. Mapas de distribución potencial de *Liolaemus tenuis* para el escenario SSP5 8.5. A la izquierda, el modelo binario y a la derecha el modelo probabilístico.

5.2. Variación de la ocupación espacial en el tiempo.

Para evaluar las variaciones temporales en la ocupación potencial de la especie en diferentes escenarios, se estimó la variación en Km² entre los modelos binomiales presentes y futuros. En la **Tabla 12** se presentan los valores de expansión (entendida como nuevas áreas de ocupación potencial en relación al modelo presente), contracción (entendida como la pérdida de áreas potencialmente ocupadas en el presente por la especie) y retención (entendida como áreas de ocupación potencial que se mantienen entre escenarios presentes y futuros) de *Liolaemus tenuis* según cada GCM y escenario socioeconómico futuro.

Tabla 12. Modificaciones en el rango distribucional de la especie.

Modelo	MIROC6 SSP26	MIROC6 SSP85	MPI SSP26	MPI SSP85
Retención	162.579 km ²	161.734 km ²	157.898 km ²	158.918 km ²
Expansión	1.065 km ²	13.181 km ²	1.150 km ²	1.338 km ²
Contracción	7.015 km ²	7.860 km ²	11.696 km ²	10.675 km ²

Discusión

En la actualidad el enfoque más comúnmente presentado en los trabajos de modelos de distribución de especies, corresponden a aquellos donde se comparan las distribuciones actuales con diferentes escenarios espaciales, o temporales en el marco de diferentes escenarios de cambio climático global. Esto dado que el reciente calentamiento del planeta, acelerado por factores de origen antropogénico, ha suscitado interrogantes sobre el efecto que las modificaciones climáticas, principalmente de las precipitaciones y temperaturas, tendrían sobre los ecosistemas y los patrones de distribución geográfica de las especies (IPCC, 2022; Marquet et al., 2019).

Dichas modificaciones de las condiciones climáticas resultan de especial relevancia para los organismos ectotérmicos, como el caso de reptiles. Puesto que, estos presentan una gran dependencia hacia las condiciones ambientales para la adquisición y mantención de adecuadas temperaturas corporales (Lara et al., 2019). Asimismo, dependen de estas condiciones para el desarrollo de sus diversos procesos fisiológicos y comportamentales (Fajardo et al., 2019).

Bajo este marco, el presente trabajo plantea como objetivo evaluar los posibles cambios distribucionales de *Liolaemus tenuis* (Duméril & Bibron, 1837) bajo diferentes escenarios de cambio climático futuro.

De esta forma, los registros obtenidos para la construcción de los modelos se presentan en la zona central de Chile, abarcando desde la región de Coquimbo hasta la región de Los Lagos. A su vez, se observa una concentración de dichos registros eminentemente entre las regiones de Valparaíso y Los Ríos, con escasos registros en el territorio argentino, principalmente en la provincia de Neuquén, limítrofe con la región de la Araucanía y Los Ríos (e.g., Donoso-Barros, 1996; Demangel, 2016; MMA, 2012; Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005) (**Figura 8**).

Junto con lo anterior, a partir de los modelos construidos en función del Set 1, se obtuvo la proyección espacial binaria y probabilística de la distribución de la especie a tiempo presente. Se observa que ambas proyecciones asumen la presencia de la especie en la zona norte de Chile, alcanzando la zona costera de influencia mediterránea de la región de Atacama. No obstante, en esta unidad administrativa no se reporta la presencia de la especie en la literatura, por lo que su proyección en la zona costera de la región de Atacama y sus valles interiores debería considerarse como un potencial artefacto de la modelación. Del mismo modo, las proyecciones

a la provincia de Mendoza y San Juan deberían considerarse como potenciales para la presencia de la especie, pero la barrera biogeográfica de los Andes podría impedir la dispersión de la misma. Esto se representa de mejor manera en las diferencias en el área de las proyecciones probabilísticas y binarias. Esto dado a que la proyección probabilística, con un umbral de 0.49, presenta un área equivalente a 356.673 km², en tanto que la proyección binaria es de 185.869 km².

Si comparamos estos valores con la estimación de la extensión de la presencia (**Figura 9**), cercana a los 184.000 km², se observa que la proyección binaria, obtenida a partir del Set 1, es potencialmente más ajustada para estimar la presencia de la especie en comparación a la proyección probabilística con este set de datos. Si bien esta última, presenta un valor de TSS de 0.82 y un valor de especificidad de 0.86 (lo que indica una alta proporción de verdaderos positivos obtenidos en el modelo combinado generado con el Set 1), una vez realizada la evaluación con los datos de testeo, se observa una media cercana al 18% de presencias que no fueron correctamente predichas por dicho modelo combinado.

Por otro lado, es relevante destacar que las variables incluidas en el Set 1 consideran variables tanto bioclimáticas como topológicas y de complejidad vegetal. Así, es posible que el uso de algunas de las variables, por ejemplo, NDVI, estén generando distorsiones en la proyección potencial de la especie. Esto dado que NDVI es una medida de complejidad y cobertura de vegetación, la que es utilizada por *Liolaemus tenuis* como sitios de percha, refugio y territorio utilizados por los machos con su respectivo harem. No obstante, esta medida no evalúa de manera correcta, en todos los casos, fisionomía de la vegetación (entendido como diferencias entre tipos de cobertura vegetal), ni tampoco entrega estimaciones de composición de esta vegetación, lo que podría estar generando proyecciones sobreestimadas de presencia potencial de la especie.

Ahora bien, en el caso del modelo binario y probabilístico obtenido en función del Set 2, se observa un escenario distinto al presentado por los modelos del Set 1. Puesto que, por una parte, el modelo binario excluye dentro del rango distribucional de la especie a las regiones de la zona norte de Chile, asumiendo la ausencia total de ésta en dicha zona, coincidente con la distribución de los registros conocidos de la especie. De igual forma, el modelo probabilístico presenta una probabilidad de presencia igual a 0 para la especie en la región de Atacama, lo que nuevamente

es coincidente con lo presentado en la literatura. A su vez, se observa que el límite distribucional norte de la especie está dado por la región de Coquimbo, mientras que el límite distribucional sur corresponde a la región de Los Ríos. Esto sugiere que los modelos resultantes de este set de variables y su proyección espacial presentan un mejor ajuste respecto a los registros conocidos y las distribuciones discutidas en la literatura (MMA, 2012).

De igual forma, al observar los resultados obtenidos del ajuste y evaluación del modelo apilado de especies generado en función del Set 2, este presenta una performance levemente superior en comparación a los resultados obtenidos en el modelo combinado con el Set de variables 1. Esto dado que, como se observa en la Tabla 5, el valor de AUC correspondiente al modelo combinado a partir del Set 1, este equivale a 0.94 y un TSS igual a 0.82. Mientras que, como se observa en Tabla 9, los valores de AUC y TSS del modelo combinado obtenido a partir del Set 2 corresponden a 0.95 y 0.85 respectivamente. Dichos valores indican que este último modelo clasifica los registros en el área evaluada de forma más eficaz y ajustada que el modelo apilado obtenido con el Set 1. Lo que a su vez refuerza la idea de que los modelos obtenidos con el Set de variables 2, se aproximan más a la distribución conocida de la especie.

En cuanto a la contribución de las variables para cada set, se observa que las variables que tienen una mayor contribución en el proceso de análisis corresponderían a la isothermalidad (bio03) y a la temperatura media del trimestre más húmedo (bio08), en el caso del Set 1. En el caso del Set 2, estas corresponderían a la precipitación del mes más lluvioso (bio13), seguida por la temperatura media del trimestre más húmedo (bio08). Lo que sugiere, que estas variables tendrían un sentido biológico para caracterizar el hábitat preferencial de la especie.

Por otro lado, para evaluar los cambios distribucionales de la especie para el periodo de 2081-2100, las proyecciones futuras fueron construidas sobre el modelo apilado obtenido en función del Set 2. De esta forma, se observa que MPI bajo ambos escenarios socioeconómicos, muestran tendencias similares entre sí. Esto dado que, ambos escenarios proponen una retención de área de entre 157.000 a 159.000 km² dentro del rango distribucional de la especie, la cual estaría concentrada en las regiones de la zona central de Chile. Junto a ello, ambos escenarios proyectan una pérdida de área de ocupación de entre 10.000 a 11.000 km², principalmente dentro de la zona centro-norte de Chile, entre las regiones de Coquimbo y Valparaíso. Así también, se propone una ganancia de territorio de entre 1.000 a 1.400 km², donde la probabilidad de

presencia de la especie se ve desplazada hacia las zonas precordilleranas y dentro del territorio argentino, entre las localidades de Neuquén y Río Negro.

Por su parte, para el caso de los resultados presentados por MIROC6 bajo el escenario SSP-2.6 y SSP-8.5, las tendencias muestran diferencias en ciertos aspectos. Así, el escenario SSP-8.5 resulta ser el más optimista en cuanto a los valores de expansión del área de ocupación de la especie, proyectando una ganancia de 13.181 km², lo que equivaldría a casi el 10% del rango de distribución actual de la especie. En comparación al escenario SSP2.6 que proyecta una expansión de únicamente 1.065 km². No obstante, los valores de retención y contracción se mantienen similares en ambos escenarios socioeconómicos.

Estos escenarios futuros sugieren una expansión del área potencial de ocupación de la especie, asumiendo un aumento de su distribución sur y hacia el este (Argentina), y con una reducción del área potencial distribucional en el extremo norte de la distribución de la especie. Estos resultados, por lo tanto, rechazan la hipótesis de trabajo, que propone una reducción potencial del área de distribución de la especie.

Conclusión

A partir de la evaluación de los cambios distribucionales de la especie *Liolaemus tenuis* (Duméril & Bibron, 1837) bajo diferentes escenarios de cambio climático futuro, es posible concluir que la distribución geográfica de la especie se ve afectada positivamente, observando modificaciones en su rango de distribución producto de la aparición de nuevos ambientes potencialmente colonizables por la especie.

Dichos ambientes se verían delimitados en las regiones de la zona sur de Chile, en localidades del territorio argentino y en sectores precordilleranos. Siendo esto último coincidente con lo planteado por diversos estudios realizados en especies de plantas y animales (e.g. González et.al, 2003), los cuales proponen que las especies podrían experimentar un desplazamiento vertical en búsqueda de condiciones climáticas más favorables, provocando con ello cambios en la amplitud altitudinal de su distribución.

Así también, de los sets de variables utilizados para el proceso de modelación, se observa que un modelo combinado con múltiples tipos de variables presenta una performance ligeramente inferior al ajuste de los modelos basados sólo en variables bioclimáticas.

De igual forma, a partir de lo presentado se observa una ampliación del nicho ecológico para la especie de aproximadamente 1.000 km² en todas las proyecciones, a excepción de MIROC6 bajo el escenario SSP-8.5, el cual propone una expansión que abarca los 13.000 km².

Junto a ello, de los modelos y escenarios aplicados en este trabajo, el modelo MPI bajo ambos escenarios socioeconómicos (SSP-2.6 y SSP-8.5), resulta ser el más pesimista. Lo que se refleja en una alta disminución del área de ocupación de la especie, la cual oscilaría entre los 10.000 a 12.000 km².

Por su parte, se debe tener en consideración que las hipótesis espaciales planteadas en este trabajo no contemplan ni predicen las capacidades adaptativas, de dispersión, aspectos conductuales, recambio generacional, entre otros aspectos relevantes de la biología de la especie, que podrían influir y determinar la ocupación de nuevos ambientes y las dinámicas de distribución de la misma. De este modo, es relevante considerar que si bien los modelos distribucionales sugieren el aumento del área de ocupación en el extremo sur de la distribución de la especie, no es posible establecer si la especie tiene la capacidad de dispersión o movilidad

que permita la potencial ocupación de estos nuevos ambientes, más aun considerando que estos ambientes estarán disponibles en un período de entre 60 a 70 años.

Finalmente, nuestros resultados contradicen la hipótesis de trabajo planteada inicialmente, y sugieren un aumento del área potencial de ocupación de la especie, en oposición a la hipótesis que sugería una disminución de esta área potencial bajo diferentes escenarios futuros de cambio climático.

Referencias

- Abdala, C., & Quinteros, A. (2014). Los últimos 30 años de estudios de la familia de lagartijas más diversa de Argentina. Actualización taxonómica y sistemática de Liolaemidae. *Cuadernos de Herpetología*, 28 (2), 55-82.
- Amatulli, G., McInerney, D., Sethi, T., Strobl, P., & Domish, S. (2020). Geomorpho90m, empirical evaluation and accuracy assessment of global high-resolution geomorphometric layers. *Scientific Data*, 7(1), 1-18.
- Anderson, R., & Martínez-Meyer, E. (2004). Modeling species geographic distributions for preliminary conservation assessment: an implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador. *Biological Conservation*, 116, 167-179.
- Arriaga, L., & Gómez, L. (2019). Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*, 1-7.
- Bambach, N., Morales-Morraga, D., & Meza, F. (2019). Modelación Climática. En C. Castilla, F. Meza, S. Vicuña, P. Marquet, & J. Montero, *Cambio Climático en Chile* (págs. 57-69).
- Bauer, N., Calvin, K., Emmerling, J., Fricko, O., Fujimori, S., Hilaire, J., Eom, J., Krey, V., Kriegler, E., Mouratiadou, I., Sytze de Boer, H., van den Berg, M., Carrara, S., Daioglou, V., Drouet, L., Edmonds, J., Gernaat, D., Havlik, P., Pietzcker, R., & Strubegger, M. (2017). Shared Socio-Economic Pathways of the Energy Sector - Quantifying the Narratives. *Global Environmental Change*, 42, 316-330.
- Bickford, D., Howard, S., J.J, D., & Sheridan, J. (2010). Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. *Biodiversity and Conservation*, 19(4), 1043-1062.
- Brattstrom, B. (1971). Social and Thermoregulatory Behavior of the Bearded Dragon, *Amphibolurus barbatus*. *Copeia*(3), 484-497.
- Brown, J., Stevens, G., & Kaufman, D. (1996). The Geographic Range: Size, Shape, Boundaries and Internal Structure. *Revisión Anual de Ecología y Sistemática*, 27(1), 597-623.

- Bustamante, D. (2017). Escenario de cambio climático a nivel de subcuencas hidrográficas para el año 2050 de la provincia de Chimborazo- Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 26(2), 15-27.
- Demangel, D. (2016). *Reptiles en Chile*. Autoedición.
- Demangel, D. (s.f.). *Reptiles del Centro Sur de Chile*. CORMA.
- Díaz-Paéz, H., Nuñez, J., Núñez, H., & Ortiz, J. (2008). Estado de conservación de anfibios y reptiles. En M. Vidal, & A. Labra, *Herpetología de Chile* (págs. 233-267). Science Verlag.
- Donoso-Barros, R. (1966). *Reptiles de Chile*. Ediciones de la Universidad de Chile.
- Dossier Cepsa. (2015). *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa*. CEPASA.
- Ebi, K., Hallegatte, S., Kram, T., Arnell, N., Carter, T., Edmonds, J., Kriegler, E., Mathur, R., O'Neil, B., Riahi, K., Winkler, H., Van Vuuren, D., & Zwickel, T. (2014). A new scenario framework for climate change research: background, process, and future directions. *Climatic Change*, 122(3), 363-372.
- Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettman, F., Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L., Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J., Soberón, J., Williams, S., . . . Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *ECOGRAPHY*, 29, 129-151.
- Escoto, A., Sánchez, L., & Gachuz, S. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(3), 669-693.
- Garreaud, R. (2011). Cambio Climático: Bases Físicas e Impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro* (93), 1-14.
- González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, Ó., Jiménez, J., & Navar, J. (2003). Cambio Climático Mundial: Origen y Consecuencias. *CIENCIA UANL*, 6(3), 377-385.

- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models with Applications in R*. EBC.
- Guitérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 179-188.
- Hickman, C., Roberts, L., Keen, S., Larson, A., I'Anson, H., & Eisenhour, D. (2009). *Principios Integrales de Zoología 14a Edición*. McGraw-Hill.
- Hutchinson, G. (1957). Observaciones finales. *Simposios de Cold Spring harbor sobre biología cuantitativa*, 22, 415-427.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- Labra, A., Vidal, M., Solís, R., & Penna, M. (2008). Ecofisiología de anfibios y reptiles . En Vidal, M., & A. Labra, *Herpetología de Chile* (págs. 483-516). Science Verlag.
- Lara, R., Galina, P., Pérez, A., Valdez, J., & Méndez, F. (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.
- Luebert, F., & Plischoff, P. (2018). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Editorial Universitaria.
- Marquet, P., Vianna, J., & Plischoff, P. (2019). Impactos y Adaptación en Ecosistemas y Biodiversidad. En J. Castilla, F. Meza, S. Vicuña, P. Marquet, & J. Montero, *Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación* (págs. 335-360). Ediciones UC.
- Mateo, R., Felicísimo, A., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 217-240.
- Meza, F. (2019). Clima de Chile y Sudamérica . En J. Castilla, F. Meza, S. Vicuña, P. Marquet, & J. Montero, *Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación* (págs. 71-84). Ediciones UC.

- Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030*. MMA.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2012). *Ficha de clasificación de especie Liolaemus tenuis*.
- Muñoz-Mendoza, C., D'Elía, G., Panzera, A., Méndez, M., Villalobos, A., Sites, J., & Victoriano, P. (2017). Geography and past climate changes have shaped the evolution of a widespread lizard from the Chilean hotspot. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 116, 157-171.
- Naoki, K., Gómez, M., López, R., Meneses, R., & Vargas, J. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41(1), 65-78.
- O'Neil, B., Kriegler, E., Ebi, K., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D., van Ruijven, B., van Vuureh, D., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2014). The Roads Ahead: Narratives for Shared Socioeconomic Pathways describing World Futures in the 21 century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180.
- O'Neil, B., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K., hallegatte, S., Carter, T., Mathur, R., & van Vuuren, D. (2013). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387-400.
- Ortíz-Yusty, C., Restrepo, A., & Páez, V. (2014). Distribución potencial de *Podocnemis lewyana* (reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climático global. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 471-481.
- Parding, K., Dobler, A., McSweeney, C., Landgren, O., Benestad, R., Erlandsen, H., Mezghani, A., Gregow, H., Raty, O., Viktor, E., El Zohbi, J., Christensen, O., & Loukos, H. (2020). GCMeval - An interactive tool for evaluation and selection of climate model ensembles. *Climate Services*, 18, 1-10.
- Pearson, R., & Dawson, T. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Gobal Ecology & Biogeography*, 12(5), 361-371.

- Pincheira-Donoso, D., & Nuñez, H. (2005). Las especies chilenas del género *Liolaemus* Wiegmann, 1834 (Iguania: Tropiduridae: Liolaeminae). *Taxonomía, Sistemática y Evolución. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural*(59), 7-486.
- Pinzon, J., & Spence, J. (2013). Modelos de distribución de especies y hotspots de biodiversidad. *Memorias Congreso Colombiano de Entomología*, 281-293.
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61-79.
- Riahi, K., van Vuuren, D., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neil, B., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Lutz, W., Popp, A., Crespo, J., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., . . . Da Silva, L. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168.
- Rodríguez-Craverro, J., Grossi, M., Fuentes-Castillo, T., & Gutiérrez, D. (2017). Cambio climático y modelado de distribución de especies de *Stevia* (Asteraceae) en el noroeste de la Argentina. *Ecología Austral*, 27, 462-473.
- Ruiz, M. (2016). Lista actualizada de los reptiles de Chile. *Boletín Chileno de Herpetología* (3), 7-12.
- Schmitt, S. P., Justeau, D., & Boissieu, F. (2017). SSDM: An R package to predict distribution of species richness and composition based on stacked species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(12), 1795-1803.
- Scolaro, A. (2006). *Reptiles Patagónicos Norte. Guía de Campo*. Universidad Nacional de la Patagonia.
- Storer, T., Usinger, R., Stebbins, R., & Nybakken, J. (1986). *Zoología General*. OMEGA.
- Torres, F., & Lamborot, M. (2008). Hipótesis filogenéticas de reptiles. En M. Vidal, & A. Labra, *Herpetología de Chile* (págs. 137-160). Science Verlag.
- Uetz, P. (2000). How many Reptile Species? *Herpetological Review*, 31(1), 13-15.

- Uetz, P. (7 de Mayo de 2023). *The Reptile Database*. The Reptile Database: <http://www.reptile-database.org/>
- Veloso, A., Ortíz, J., Navarro, J., Nuñez, H., & Espejo, P. L. (1995). Reptiles . En M. Kalin, E. Lozada, J. Simonetti, & A. Sportono, *Diversidad Biológica de Chile* (págs. 326-335). Comité Nacional de Diversidad Biológica: CONICYT.
- Victoriano, P., Ortiz, J., Benavides, E., Adams, B., & Sites, J. (2008). Comparative phylogeography of codistributed species of Chilean *Liolaemus* (Squamata: Tropiduridae) from the central-southern Andean range. *Molecular Ecology*, 17, 2397-2416.
- Vidal, M. (2008). Biogeografía de anfibios y reptiles . En M. Vidal, & A. Labra, *Herpetología de Chile* (págs. 195-231). Science Verlag.
- Vidal, M., & Labra, A. (2008). Dieta de anfibios y reptiles. En M. Vidal, & A. Labra, *Herpetología de Chile* (págs. 453-482). Science Verlag.