

Modelo de distribución y estado de conservación de la lagartija de Lorenz Müller *Liolaemus lorenzmuelleri* en relación a las concesiones mineras de Chile

Distribution model and conservation status of Lorenz Müller's tree iguana *Liolaemus lorenzmuelleri* in relation to mining concessions in Chile

César Lautaro Chávez-Villavicencio^{1,2*} 

- Recibido: 04/Oct/2021
- Aceptado: 02/Feb/2022
- Publicación en línea: 18/Feb/2022

Citación: Chávez-Villavicencio CL. 2022. Modelo de distribución y estado de conservación de la lagartija de Lorenz Müller *Liolaemus lorenzmuelleri* en relación a las concesiones mineras de Chile. *Caldasia* 43(3):603-611. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n3.98785>

ABSTRACT

Liolaemus lorenzmuelleri, endemic to Chile, occurs between the Los Helados lagoon and the La Laguna reservoir, from 2300 to 4000 meters above sea level. The Red List of Threatened Species of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) classifies *L. lorenzmuelleri* as Endangered, while the Chilean state classifies it as Vulnerable. Differing and non-comprehensive conceptualizations of the geographic distribution of this species contribute to this classification discrepancy. However, in both classifications the main threat was habitat destruction due to mining activity. Given the uncertain distribution of this species and the ongoing growth of mining production in Chile, relevant locality data was exhaustively reviewed to develop a model of potential distribution using MaxEnt, which was then superimposed on a map of mining concessions in Chile to assess the threat severity. The distribution model encompassed an area of 16 919 km² between 1750 and 4250 m height, and strongly depended on elevation and mean temperature of wettest quarter. Superposition of the model with mining concessions reduced the potential distribution of *L. lorenzmuelleri* to 9952 km² and resulted in extensive fragmentation. Despite this fragmentation scenario and the documented presence of the species in active mining concessions, this work indicates that *L. lorenzmuelleri* should be re-classified as Vulnerable B1ab(i)+B1ab(ii)+B1ab(iii) by the IUCN, thus establishing logical consistency between this listing and that of the Chilean government. It is necessary to prioritize a conservation plan for *L. lorenzmuelleri*.

Keywords: Biological corridor, Environmental assessment service, Environmental impact study, Habitat Fragmentation, Mining.

¹ Programa de Doctorado en Biología y Ecología Aplicada. Universidad Católica del Norte. Calle Larrondo 1281, Región de Coquimbo, Chile. Email: cchavez@ucn.cl

² Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales. Calle Carmen Quiroga 421, La Serena, Región de Coquimbo, Chile.

* Autor para correspondencia.



RESUMEN

Liolaemus lorenzmuelleri, endémica de Chile, está presente entre la laguna de Los Helados y el embalse de La Laguna, de 2300 a 4000 m de altitud. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) clasificó a *L. lorenzmuelleri* como En peligro, mientras que el Estado chileno lo clasificó como Vulnerable. Las conceptualizaciones diferentes y no exhaustivas de la distribución geográfica de esta especie contribuyen a esta discrepancia de clasificación. Sin embargo, en ambas clasificaciones, la principal amenaza fue la destrucción del hábitat por la actividad minera. Dada la distribución incierta de esta especie y el continuo crecimiento de la minería en Chile, se revisaron exhaustivamente datos relevantes de las localidades para desarrollar un modelo de distribución potencial utilizando MaxEnt, el que se superpuso con el mapa de concesiones mineras para dimensionar la gravedad de la amenaza de la minería. El modelo de distribución presentó un área de 16 919 km² en altitudes entre 1750 y 4250 m y, dependió de la elevación y la temperatura media del trimestre más húmedo. La superposición del modelo con las concesiones mineras redujo la distribución potencial a 9952 km² generando fuerte fragmentación. A pesar de este escenario de fragmentación y la presencia de la especie en las concesiones mineras otorgadas, este trabajo indicó que *L. lorenzmuelleri* debería ser reclasificada como Vulnerable B1ab(i)+B1ab(ii)+B1ab(iii) por la UICN, homologando la categoría con la del gobierno chileno. En consecuencia, es necesario priorizar un plan de conservación para *L. lorenzmuelleri*.

Palabras clave: Corredor biológico, Estudio de impacto ambiental, Explotación minera, Fragmentación de hábitat, Servicio de evaluación ambiental.

INTRODUCCIÓN

El género *Liolaemus* se distribuye ampliamente en el cono sur de Sudamérica, donde supera las 200 especies (Schulte *et al.* 2000). En Chile, su distribución se registra desde Arica (18°20`S) hasta Magallanes (56°S) y comprende 96 especies de las cuales 38 son endémicas del país (Ruíz de Gamboa 2016, Mella 2017).

Liolaemus lorenzmuelleri (Hellmich, 1950) es una de las especies endémicas de Chile. Es una especie gregaria, ovípara, y de hábitos saxícolas y terrícolas (Mella 2017). En la literatura, la distribución de *L. lorenzmuelleri* es discrepante e inconsistente. La descripción original reportaba la especie en dos localidades de la Región de Coquimbo (Nueva Elqui y Río Seco) entre 2300 y 3200 metros sobre el nivel del mar (Hellmich 1950). Posteriormente, Pincheira-Donoso y Núñez (2005), reportaron la presencia de la especie 19 km al sur de Nueva Elqui en el embalse La Laguna (sobre los 3300 m); mientras que Troncoso-Palacios (2013) reportó la presencia de la especie en la laguna Los Helados (3600 m) en la Provincia de Copiapó (Región de Atacama), 196 km al norte de Nueva Elqui. El Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2016), delimitó por prime-

ra vez un mapa de distribución de *L. lorenzmuelleri* desde la laguna Los Helados hasta el embalse La Laguna, con altitudes entre 2300 y 4000 m (aunque no indicó la fuente ni localidad de este registro). La extensión de presencia aproximada fue de 4660 km² y la extensión de ocurrencia fue menor a 50 km² con una evidente fragmentación. Por otro lado, en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), Lobos *et al.* (2016) reportaron que la especie tiene un rango altitudinal entre 3200 y 3500 m, citando a Pincheira-Donoso *et al.* (2008), también indica que la extensión de ocurrencia es de 1700 km² (aunque el polígono descargable del portal de UICN presenta una superficie de 1449 km²). Por su parte, Mella (2017) indica que la especie se distribuye entre los 2300 y 3500 m, desde Cuesta Cardones en Vallenar (Región de Atacama) hasta Nueva Elqui. Roll *et al.* (2017), realizaron un esfuerzo mayor para determinar la distribución de *L. lorenzmuelleri* y modelaron la distribución de la especie con métodos de envoltura alfa convexo, obteniendo un mapa con tres polígonos que sumaron una superficie de 7699 km², comprendiendo altitudes entre 1500 y 4000 m, sugiriendo incluso que la especie podría estar presente al oeste de Argentina, contiguo a la Región de Atacama. Estas representaciones

discrepantes del área de distribución de *L. lorenzmuelleri* se relacionan directamente con el estado de conservación de la especie

De acuerdo con la UICN (Lobos *et al.* 2016) y el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2016), la principal amenaza sobre la especie es la destrucción de su hábitat producto de las actividades mineras dentro de su rango de distribución conocido. La UICN implicó directamente que los proyectos Pascua Lama y Ex Minera El Indio están destruyendo el hábitat en una gran parte de su área de distribución por lo tanto, aplicó los criterios B1ab(iii) (UICN 2012) para clasificar a la especie en la categoría de “En Peligro”; mientras que el estado chileno, en el 12° proceso de clasificación de especies del año 2016 (Ministerio del Medio Ambiente de Chile 2016), argumentó que la disminución de la calidad del hábitat por perturbación y transformación de su área de ocupación por actividades mineras cumplían con los criterios B1ab(iii)+2ab(iii) (UICN 2012) y clasificó a la especie en estado “Vulnerable.” En ambos casos, el estado de conservación consideró la superficie de la distribución geográfica y a la minería como amenaza sobre la calidad del hábitat, variables de gran importancia, porque la especie se encuentra con un alto grado de aislamiento geográfico (UICN 2012, Roll *et al.* 2017).

Ante el crecimiento esperado del 20,7 % de la producción minera para el año 2030 (Cifuentes y Garay 2019), es evidente que las compañías mineras comenzarán a explotar sus concesiones, lo que generará desplazamiento de fauna, pérdida de biodiversidad y fragmentación de paisajes por la eliminación de la vegetación (Pérez y Betancur 2016). Además, si se considera que en el centro-norte de Chile (zona donde se distribuye *L. lorenzmuelleri*) se concentra casi la totalidad de reservas de cobre del país (Servicio Nacional de Geología y Minería 2020), inevitablemente se producirá alguna interacción entre la actividad minera y la distribución de *L. lorenzmuelleri*. Por lo tanto, urge tener una buena aproximación de la distribución de esta especie para contextualizarla en el marco de las concesiones mineras. Tanto las propuestas del Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2016) como las de Roll *et al.* (2017) contribuyeron con esta aproximación; sin embargo, las metodologías empleadas subestiman el verdadero rango de distribución o incluyen áreas que la especie no utiliza (Gaston y Fuller 2009). En este contexto, una buena alternativa sería modelar la distribución de *L. lorenzmuelleri* relacionando los puntos de presencia conocidos con

variables bioclimáticas y altitudinales, que son clave para determinar la distribución geográfica y los requisitos de hábitat de las especies (Guisan y Zimmermann 2000, Petrosyan *et al.* 2019). Aunque los modelos estadísticos tienden a sobrestimar las distribuciones de las especies, porque se centran en factores macroambientales dejando de lado a los microambientales, las interacciones con otras especies y contingencias históricas (Gaston 2003, Petrosyan *et al.* 2019), el efecto puede reducirse evaluando las ocurrencias predichas únicamente dentro de los límites de las ocurrencias marginales de una especie (Loiselle *et al.* 2003). Por lo tanto, se planteó como objetivos elaborar un modelo de la distribución de *L. lorenzmuelleri*, bajo la perspectiva de máxima entropía, comparar el mapa resultante con el mapa de las concesiones mineras en Chile y evaluar el estado de conservación según los criterios oficiales de la UICN (Comité de Estándares y Peticiones de la UICN 2019)

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de datos: Entre marzo y julio de 2021 se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos de Web of Science, Scopus, Scielo, Latindex y Google Scholar, de artículos revisados por pares publicando las coordenadas de presencia de *L. lorenzmuelleri*. La búsqueda se realizó empleando como palabras clave “*Liolaemus lorenzmuelleri*” y “*Liolaemus lorenzmuelleri* pdf”. Además, la búsqueda de coordenadas de presencia se amplió a la base de datos del portal de GBIF (Global Biodiversity Information Facility 2021), iNaturalist (https://www.inaturalist.org/observations?place_id=any&subview=table&taxon_id=39176) y The Reptile Database (<http://www.reptile-database.org/>). No se tomó en consideración aquellas fuentes o referencias que no señalaron una coordenada de ubicación.

Modelo de distribución: Se elaboró con el programa MaxEnt 3.4.1 que se basa en el método de máxima entropía (Phillips *et al.* 2006), conveniente para trabajar con especies raras, crípticas, con tamaños de muestra pequeños y cuando resulta problemático obtener datos de ausencia confiables (Stryzowska *et al.* 2016, Galante *et al.* 2018). El modelo se elaboró delimitando primero el área de accesibilidad o “área M”, que se construyó con base en los pisos vegetacionales de Luebert y Plischoff (2018) y los puntos de presencia en cada piso (Cuervo-Robayo *et al.* 2017). Esta acción permitió caracterizar el nicho ecológico (Mota-Vargas *et al.* 2020). Seguidamente, se utilizó el to-

tal de las coordenadas obtenidas (nueve), para tomar ventaja de todos los datos de ocurrencia disponibles, proveer la mejor estimación de la distribución de la especie y tener una mejor interpretación visual (Phillips *et al.* 2006). Por el número de presencias, se trabajó con la variación de dos configuraciones críticas: clases de entidad (FC) y el multiplicador de regularización (RM=1) de acuerdo a lo recomendado por Morales *et al.* (2017) y Galante *et al.* (2018). Los FC son parámetros del algoritmo que emplean las variables ambientales para restringir la distribución de probabilidad que se calcula. Los FC empleados fueron: características lineales, características cuadráticas lineales, características del producto cuadrático lineal, rasgo de articulación además del modelo producido por defecto. La descripción de cada uno de los modelos de tipos de características se puede encontrar en Phillips *et al.* (2006) y Phillips y Dudik (2008). La aplicación de estos FC de MaxEnt permitió controlar la flexibilidad de la forma de la respuesta modelada a cada variable de entrada. El RM promovió la simplicidad al aplicar penalizaciones a los parámetros adicionales incluidos en un modelo y ponderaciones más altas para ellos (Phillips *et al.* 2009, Merow *et al.* 2013). Asumiendo la influencia del clima en la distribución de *L. lorenzmuelleri*, se emplearon las 19 variables bioclimáticas de Worldclim.org, con una resolución de 30 arcosegundos más la variable de modelo de elevación digital (Hijmans *et al.* 2005). El uso de todas las variables bioclimáticas en modelos de distribución es una práctica ampliamente establecida (Boria *et al.* 2014, Galante *et al.* 2018), aunque siempre existe el debate por la posibilidad de autocolinealidad en el modelo final. Sin embargo, trabajar con todas las variables climáticas y el modelo digital de elevación, aporta a medir la correlación promedio (rango) entre todas las variables (Feng *et al.* 2019). El número de réplicas empleado fue 50 y el tipo de ejecución replicado fue “crossvalidation” (Phillips *et al.* 2006). El modelo predictivo logístico, que proporcionó una probabilidad espacial predicha de ocurrencia de 0 (bajo) a 1 (alto), se procesó con ArcMap (ESRI 2011). La evaluación del mejor modelo se realizó a través del área bajo la curva (AUC) de la curva de características operativas del receptor (ROC), que se traza utilizando la sensibilidad (proporción de presencias correctamente predicha) y la especificidad (proporción de ausencias correctamente predicha) como el método principal de evaluación del modelo (Fielding y Bell 1997). El AUC varía de 0,5 (baja discriminación) a 1 (discriminación perfecta), la regla general establece que los valores de AUC superiores a 0,75 se consideran informati-

vos (Eskildsen *et al.* 2013). Los rásteres de mapas binarios replicados que entrega MaxEnt, se promediaron para un solo mapa de visualización (Stryszowska *et al.* 2016). El umbral de distribución de la especie se estableció a través de la máxima sensibilidad de entrenamiento más área de especificidad, para disminuir la sobre estimación del modelo (Loiselle *et al.* 2003).

Finalmente, el análisis de la distribución de la especie en relación a las concesiones mineras en Chile, se comparó superponiendo el mapa resultante del modelo con el mapa de concesiones mineras de explotación (códigos 1932 y 1983), del Servicio Nacional de Geología y Minería (c2021) de Chile. Basado en parte de esta superposición, se aproximó una evaluación del estado de conservación de la especie siguiendo las pautas de Comité de Estándares y Peticiones de la UICN (c2019).

■ RESULTADOS

La búsqueda permitió encontrar nueve localidades con coordenadas de presencia ubicadas en las regiones de Atacama y Coquimbo (Chile), con altitudes entre 2300 y 3920 m (Tabla 1, Fig. 1). Los pisos vegetacionales que determinaron el área de accesibilidad fueron: Matorral bajo desértico mediterráneo andino de *Senecio proteus* y *Haplopappus baylahuen*, Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de *Adesmia hystrix* y *Ephedra breana* y Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de *Adesmia subterranea* y *Adesmia echinus*.

El modelo de distribución de la especie presentó una extensión de 16 919 km², comprendió desde el sureste de la Región de Atacama hasta el centro y este de la Región de Coquimbo, entre 1750 y 4250 m de altitud, de acuerdo a las curvas de nivel empleadas (Fig. 1). El rendimiento del modelo fue informativo (AUC = 0,760. SD = 0,212). Las variables explicativas que más contribuyeron fueron la altitud con 42,0 % y la temperatura media del trimestre más lluvioso (Bio 8) con 32,3 %. La elevación mostró que la especie disminuye su probabilidad de distribución conforme esta se incrementa, mientras que Bio 8 mostró que la probabilidad de distribución responde a rangos óptimos, disminuyendo hacia valores extremos (Fig. 2).

La superposición del modelo de distribución de la especie con el mapa de las concesiones mineras de las regiones de Atacama y Coquimbo (Chile), reveló que la disposición te-

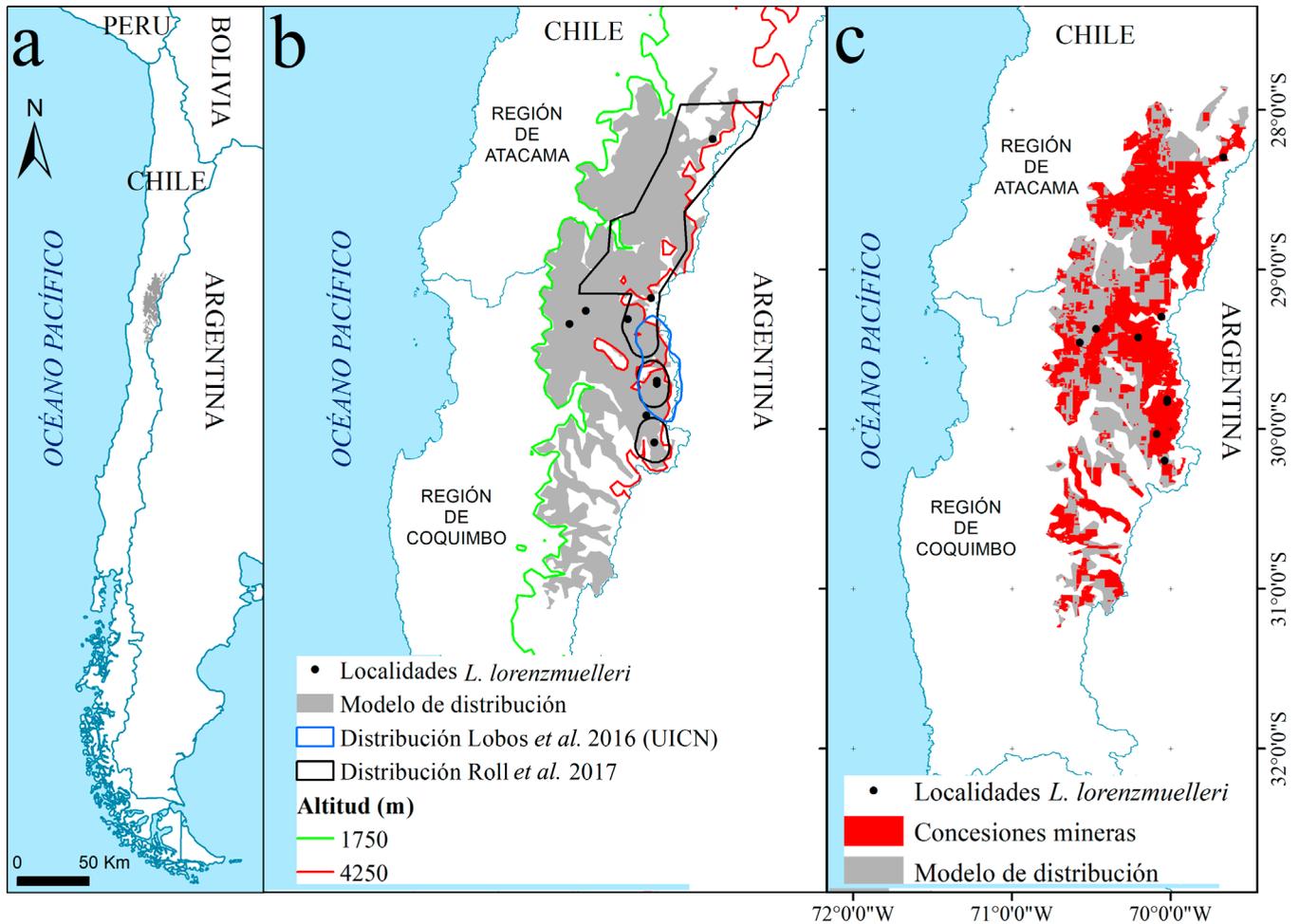


Figura 1. Distribución de *Liolaemus lorenzmuelleri*. **a.** contexto geográfico, **b.** modelo de distribución en relación a las propuestas de Lobos *et al.* (c2016) y Roll *et al.* (2017), y **c.** fragmentación del modelo de distribución en el contexto de las concesiones mineras.

territorial de estas concesiones fragmentó la distribución de la especie. La suma de estos fragmentos alcanzó los 9952 km², es decir, las concesiones mineras, redujeron la superficie del modelo de distribución al 58,8 % del total estimado. Además, siete localidades de presencia (Los Helados, Pascualama, Tres Quebradas, Los Morros, Mina El Indio, Baños de Toro y Nueva Elqui [esta última es la localidad tipo]) se encontraron dentro de las concesiones mineras; mientras que un punto de presencia, el del embalse La Laguna, quedó completamente aislado (Tabla 1, Fig. 1).

DISCUSIÓN

La elaboración del modelo de distribución de *L. lorenzmuelleri* presentó mayor ventaja sobre los modelos conocidos de Lobos *et al.* (c2016) y Roll *et al.* (2017) porque estimó el tamaño del área de distribución con base en variables bioclimáticas, altitudinales y el área de accesibilidad, impor-

tantes en la distribución de las especies (Wiens y Graham 2005, Cuervo-Robayo *et al.* 2017, Petrosyan *et al.* c2019), más allá del bien aceptado criterio de experto. De acuerdo con las variables bioclimáticas, de altitud y el área de accesibilidad, *L. lorenzmuelleri* presentó una superficie en el modelo de distribución mayor que la superficie propuesta por el Inventario Nacional de Especies de Chile (Ministerio del Medio Ambiente c2016), de Lobos *et al.* (c2016) y de Roll *et al.* (2017).

La distribución de la especie estuvo influenciada por la variable altitudinal (elevación), la que se relaciona con las condiciones ambientales y la tolerancia térmica de los reptiles en función del gradiente altitudinal (Navas *et al.* 2013). Se conoce que a mayores altitudes los organismos toleran temperaturas más bajas, lo que es ventajoso para la supervivencia en ese tipo de ambientes (Gibert y Huey 2001). La superficie de distribución propuesta por el mo-

Tabla 1. Registros de presencia de *Liolaemus lorenzmuelleri* en Chile ordenados de norte a sur.

Latitud	Longitud	Elevación (m)	Región	Provincia	Comuna	Localidad	Fuente
-28.29803	-69.66641	3633	Atacama	Copiapó	Tierra Amarilla	Los Helados	Troncoso-Palacios c2013
-29.29450	-70.05540	3920	Atacama	Huasco	Alto del Carmen	Pascualama	Cortes <i>et al.</i> 1995
-29.37380	-70.46768	3548	Atacama	Huasco	Alto del Carmen	Potrerrillos	iNaturalist (#9601450)
-29.42672	-70.20219	2840	Atacama	Huasco	Alto del Carmen	Tres Quebradas	Marambio-Alfaro y Hiriart-Lamas 2012
-29.45679	-70.56982	2735	Coquimbo	Elqui	Vicuña	Los Morros	iNaturalist (#9601443)
-29.81353	-70.01948	3567	Coquimbo	Elqui	Vicuña	Mina El Indio	Cortes <i>et al.</i> 1995
-29.83110	-70.01934	3288	Coquimbo	Elqui	Vicuña	Baños de Toro	Pincheira-Donoso y Núñez 2006
-30.03058	-70.08638	2300	Coquimbo	Elqui	Vicuña	Nueva Elqui	Hellmich 1950
-30.19782	-70.03605	3393	Coquimbo	Elqui	Vicuña	Embalse La Laguna	Pincheira-Donoso y Núñez c2005

delo, en comparación con especies con rangos altitudinales más amplios, es menor, lo que responde a la tendencia sobre la ubicación de las áreas de distribución en relación a la altitud, es decir, especies que se localizan en altitudes mayores presentan un área de distribución menor, por el contrario, las especies localizadas en altitudes bajas poseen un área de distribución mayor (Stevens 1992). Más allá del aspecto térmico, la variable altitudinal se constituye como una barrera geográfica importante que impediría la dispersión de la especie hacia Argentina, debido a que la accesibilidad, en función de los pisos vegetacionales, no excede los 4000 m (Luebert y Plissock 2018, Fig. 1).

La distribución de la especie también presentó influencia de Bio 8, que para los sitios de presencia de esta especie, correspondió a los meses de junio, julio y agosto (otoño - invierno), lo que implica que la especie no solo depende de la temperatura, sino que el factor agua, también es importante en su distribución. La respuesta de la especie a Bio 8 podría ser desfavorable si se considera que el modelo de distribución resultante, entre el sur de la Región de Atacama y el norte de la Región de Coquimbo (Fig. 1), se encuentran bajo los efectos de la mega sequía que experimenta esta parte de Chile (Garreaud *et al.* 2017), además del incremento de la temperatura en el centro del país (Dirección Meteorológica de Chile c2020). Entonces, la pérdida de hábitat por ausencia de lluvias o por cambios en la temperatura, continúa siendo la principal amenaza sobre la especie.

La fragmentación del hábitat disminuye la densidad poblacional, la tasa de colonización, genera poblaciones no viables (la mortalidad es mayor que la natalidad por la falta de superficie) y aumenta el riesgo de extinción local y extinción completa en varios organismos (Hanski y Ovaskainen 2003, Higgins 2009, Didham 2010). Este escenario es el que enfrentará *L. lorenzmuelleri* en el futuro si se inicia la explotación de las concesiones mineras ubicadas dentro de su área de distribución predicha sin prever la conectividad entre fragmentos. Debe considerarse que solo uno de estos fragmentos registra presencia real de la especie (Fig. 1). Estos fragmentos quedarán sin conexión, aislando a la especie hasta su extinción. Sin embargo, si la industria minera a futuro, considera mantener la conexión entre los fragmentos (flujo de genes) a través de corredores biológicos, básicamente vegetación y rocas en función de los pisos vegetacionales de Luebert y Plissock (2018), existirá la posibilidad de mantener la viabilidad de la especie, dado que los corredores biológicos frenan la tendencia de extinción local, permite la recolonización de hábitats y restablece poblaciones tras extinciones locales (Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia 2008). Aunque el mapa del Ministerio del Medio Ambiente de Chile (c2016) mostró que el área de ocupación de la especie se encuentra fragmentada, no explicó la metodología para esta propuesta y al parecer, no consideró el aislamiento de esos fragmentos en el

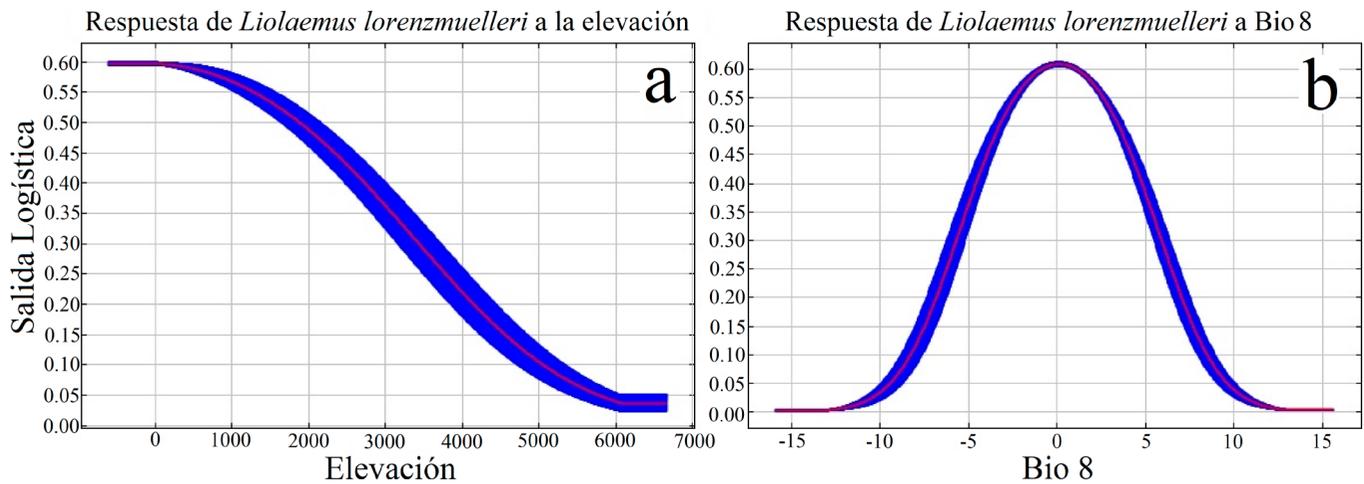


Figura 2. Curvas de respuesta del modelo de distribución de *Liolaemus lorenzmuelleri*. **a.** para la elevación y **b.** la temperatura media del trimestre más lluvioso (Bio 8).

contexto de las concesiones mineras para el análisis del estado de conservación. Los resultados de este trabajo, pueden ser un aporte en el análisis desde el punto de vista de la amenaza más importante (la actividad minera) sobre la conservación de la especie.

A pesar del escenario de fragmentación de la distribución predicha de la especie y aun cuando hay puntos de presencia sobre concesiones mineras, los criterios que cumple *L. lorenzmuelleri* para la clasificación de su estado de conservación son B1ab(i)+B1ab(ii)+B1ab(iii), que lo ubican en estado Vulnerable, similar a como lo planteó el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (c2016).

No obstante, es urgente priorizar la elaboración de un plan de conservación para esta especie de acuerdo al procedimiento de los Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación (Alianza para las Medidas de Conservación c2020). Considerando a *L. lorenzmuelleri* como un objeto de conservación, el análisis de viabilidad del objeto conduciría a calificarla en condición de “Pobre”. La disminución de sus poblaciones (Lobos *et al.* c2016) afectan directamente sobre las categorías de “Tamaño” y “Condición”, la fragmentación en su distribución proyectada afecta directamente sobre la categoría de “Contexto de Paisaje”; mientras que la actividad minera como amenaza, tendría una calificación de “Muy Alta”.

AGRADECIMIENTOS

A David López por el asesoramiento en el uso del sistema de información geográfica. A Ignacio Díaz Caqueo por permitir el uso de sus registros compartidos en iNaturalist.

A los revisores anónimos que contribuyeron en excelente forma a mejorar sustancialmente este trabajo.

CONFLICTO DE INTERÉS

No existen conflictos de intereses que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones del artículo.

LITERATURA CITADA

- Alianza para las Medidas de Conservación. c2020. Open Standards for the Practice Of Conservation. Version 4.0. [Revisada en: 1 feb 2022]. <https://conservationstandards.org/download-cs/>
- Boria RA, Olson LE, Goodman SM, Anderson RP. 2014. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecol. Modell.* 275:73-77. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.12.012>
- Cifuentes C, Garay V. c2019. Proyección de la producción de cobre en Chile 2019 - 2030 DEPP 15/2019. Comisión Chilena del Cobre. Ministerio de Minería. [Revisada en: 12 jun 2021]. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Proyecci%C3%B3n%20de%20la%20producci%C3%B3n%20esperada%20de%20cobre%202019%20-%202030%20Vfinal.pdf>
- Comité de estándares y peticiones de la UICN. c2019. Directrices de uso de las Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN. Versión 14. Preparado por el Comité de Estándares y Peticiones. [Revisada en: 27 ene 2022]. <https://www.iucnredlist.org/es/resources/redlistguidelines>.
- Cuervo-Robayo AP, Escobar LE, Osorio-Olivera LA, Nori J, Varela S, Martínez-Meyer E, Velásquez-Tibatá J, Rodríguez-Soto C, Munguía M, Castañeda-Álvarez NP, Lira-Noriega L, Soley-Guardia M, Serradías JM, Townsend Peterson A. 2017. Introducción a los análisis espaciales con énfasis en modelos de nicho ecológico. *Biodivers. Inform.* 12:45-57. doi: <https://doi.org/10.17161/bi.v12i0.6507>

- Didham RK. 2010. Ecological consequences of habitat fragmentation. *eLS*. 61:1-39. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021904>
- Dirección Meteorológica de Chile. c2020. Reporte anual de la evolución del clima en Chile. Oficina de Cambio Climático de la Sección de Climatología. Dirección General de Aeronáutica Civil. [Revisada en: 20 ene 2022]. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/ReporteClimatico2020-edmay2021.pdf>
- Esildsen AP, Le roux C, Heikkinen RK, Hoye TT, Kissling WD, Poyry J, Wisz MS, Luoto M. 2013. Testing species distribution models across space and time: high latitude butterflies and recent warming. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22:1293-1303. doi: <https://doi.org/10.1111/geb.12078>
- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Feng X, Park DS, Liang Y, Pandey R, Papeş M. 2019. Collinearity in ecological niche modeling: confusions and challenges. *Ecol. Evol.* 9:10365-10376. doi: <https://doi.org/10.1002/ece3.5555>
- Fielding AH, Bell JF. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environ. Conserv.* 24:38-49. doi: <https://doi.org/10.1017/S0376892997000088>
- Galante PJ, Alade B, Muscarella R, Jansa SA, Goodman SM, Anderson RP. 2018. The challenge of modeling niches and distributions for data-poor species: a comprehensive approach to model complexity. *Ecography* 41:726-736. doi: [10.1111/ecog.02909](https://doi.org/10.1111/ecog.02909)
- Garreaud RD, Alvarez-Garretón C, Barichivich J, Boisier JP, Christie D, Galleguillos M, LeQuesne C, McPhee J, Zambrano-Bigiarini M. 2017. The 2010-2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21:6307-6327. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>
- Gaston KJ. 2003. *The Structure and Dynamics of Geographic Ranges*. Oxford: Oxford University Press. [Revisada en: 18 jul 2020]. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/421660?journalCode=qrb>
- Gaston KJ, Fuller RA. 2009. The sizes of species' geographic ranges. *J Appl Ecol.* 46:1-9. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01596.x>
- Gibert P, Huey RB. 2001. Chill-coma temperature in *Drosophila*: effects of developmental temperature, latitude, and phylogeny. *Physiol. Biochem. Zool.* 74:429-434. doi: <https://doi.org/10.1086/320429>
- Global Biodiversity Information Facility. c2021. GBIF.org Occurrence. [Revisada en: 5 abr 2021]. doi: <https://doi.org/10.15468/dl.d2v6uh>
- Guisan A, Zimmermann N. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Modell.* 135:147-186. doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Gurrutxaga San Vicente M, Lozano Valencia PJ. 2008. Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿solucionan la problemática de la fragmentación de hábitats? *Obs. Medioambient.* 11:171-183. [Revisada en: 22 sep 2021]. <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0808110171A>
- Hanski I, Ovaskainen O. 2003. Metapopulation theory for fragmented landscapes. *Theor. Popul. Biol.* 64:119-127. doi: [https://doi.org/10.1016/S0040-5809\(03\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0040-5809(03)00022-4)
- Hellmich W. c1950. Die Eidechsen der Ausbeute Schröder (Gattung *Liolaemus*, Iguan.) (Beiträge zur Kenntnis der Herpetofauna Chiles XIII). Veröffentlichungen der Zoologischen Staatssammlung München. 1:129-194. [Revisada en: 13 mar 2020]. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/74391>
- Higgins K. 2009. Metapopulation extinction risk: dispersal's duplicity. *Theor. Popul. Biol.* 76:146-155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tpb.2009.05.006>
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25:1965-1978. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Luebert F, Plissock P. 2018. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 2da edición. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Lobos G, Marambio Y, Ruiz de Gamboa M. c2016. *Liolaemus lorenzmuelleri*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T12005A69940985. [Revisada en: 27 may 2021]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T12005A69940985.en>
- Loiselle BA, Howell CA, Graham CH, Goerck JM, Brooks T, Smith KG, Williams PH. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conserv. Biol.* 17:1591-1600. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2003.00233.x>
- Marambio-Alfaro Y, Hiriart-Lamas D. 2012. Reptiles de la Región de Atacama. Fondo Nacional de Desarrollo Regional.
- Mella J. 2017. Guía de campo de reptiles de Chile. Tomo 2: Zona Norte. Santiago de Chile: Alvimpress Impresores Limitada.
- Merow C, Smith M, Silander JA. 2013. A practical guide to Maxent: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36:1-12. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Ministerio del Medio Ambiente de Chile. c2016. Inventario Nacional de Especies de Chile. [Revisada en: 18 may 2021]. http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_independen.aspx?EspecieId=873&Version=1
- Morales NS, Fernández IC, Baca-González V. 2017. MaxEnt's parameter configuration and small samples: are we paying attention to recommendations? A systematic review. *PeerJ.* 5:e3093. doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.3093>
- Mota-Vargas C, Encarnación-Luévano A, Ortega-Andrade M, Prieto-Torres E, Peña-Peniche A, Rojas-Soto OR. 2019. Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. En: Moreno CE, editor. *La biodiversidad en un mundo cambiante: fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Ciudad de México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. p. 39-63.

- Navas CA, Carvajalino-Fernández JM, Saboyá-Acosta LP, Rueda-Solano LA, Carvajalino-Fernández MA. 2013. The body temperature of active amphibians along a tropical elevation gradient: patterns of mean and variance and inference from environmental data. *Funct. Ecol.* 27:1145-1154. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12106>
- Pérez MM, Betancur VA. 2016. Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. *Soc. Ambient.* 10:95-112. [Revisada en: 7 may 2021]. doi: <https://revistas.ecosur.mx/sociedadambiental/index.php/sya/article/view/1654>
- Petrosyan V, Osipov F, Bobrov V, Dergunova N, Nazarenko E, Omelchenko A, Danielyan F, Arakelyan M. 2019. Analysis of geographical distribution of the parthenogenetic rock lizard *Darevskia armeniaca* and its parental species (*D. mixta*, *D. valentini*) based on ecological modelling. *Salamandra* 55(3):173-190. [Revisado en: 14 ago 2019]. doi: <http://ysu.am/files/9-1575891924-.pdf>
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 190:31-259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips SJ, Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31(2):161-175. doi: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Phillips SJ, Dudík M, Elith J, Graham CH, Lehmann A, Leathwick J, Ferrier S. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for back-ground and pseudo-absence data. *Ecol Appl.* 19:181-197. doi: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/07-2153.1>
- Pincheira-Donoso D, Núñez H. 2005. Las especies chilenas del género *Liolaemus* Wiegmann, 1834 (Iguania: Tropicuridae: Liolaeminae): taxonomía, sistemática y evolución. *Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile.* 59:1-486. [Revisado en: 22 feb 2020]. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwioKqjW4N71AhVoGLkGHbxKCosQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.mnhn.gob.cl%2Fsites%2Fwww.mnhn.gob.cl%2Ffiles%2Fimages%2Farticles-5271_archivo_01.pdf&usg=AOvVawoieCzy2tj3pvRvnSru1AuD
- Pincheira-Donoso D, Sclaro JA, Sura P. 2008. A monographic catalogue on the systematics and phylogeny of the South American iguanian lizard family Liolaemidae (Squamata, Iguania). *Zootaxa* 1800:1-85. doi: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1800.1.1>
- Roll U, Feldman A, Novosolov M, Allison A, Bauer AM, Berbarid R, Böhm M, Castro-Herrera F, Chirio L, Collen B, Colli GR, Da-
 bool L, Das I, Doan TM, Grismer LL, Hoogmoed M, Itescu Y, Kraus F, LeBretton M, Lewin A, Martins M, Maza E, Meirte D, Nagy ZT, Nogueira CdeC, Pauwels OSG, Pincheira-Donoso D, Powney GD, Sindaco R, Tallowin OJS, Torres-Carvajal O, Trape J-F, Vidan E, Uetz P, Wagner P, Wang Y, Orme CDL, Grenyer R, Meiri S. 2017. The global distribution of tetrapods reveals a need for targeted reptile conservation. *Nat. Ecol. Evol.* 1:1677-1682. doi: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0332-2>
- Ruiz de Gamboa M. 2016. Lista actualizada de los reptiles de Chile. *Boletín Chileno de Herpetología.* 3:7-12. [Revisada en: 21 ene 2021]. http://www.boletindeferpetologia.com/uploads/3/2/2/9/32291217/3._ruizdegamboa2016.pdf
- Servicio Nacional de Geología y Minería. 2020. Anuario de la Minería de Chile 2019. Santiago de Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería. [Revisada en: 23 ago 2021]. https://www.sernageomin.cl/pdf/anuario_2019_act100720.pdf
- Servicio Nacional de Geología y Minería. 2021. Catastro de concesiones mineras. [Revisada en: 12 may 2021]. <http://catastro.sernageomin.cl/>
- Schulte J, Macey R, Espinoza R, Larson A. 2000. Phylogenetic relationships in the iguanid lizard genus *Liolaemus*: multiple origins of viviparous reproduction and evidence for recurring Andean vicariance and dispersal. *Biol. J. Linn. Soc.* 69:75-102. doi: <https://doi.org/10.1006/bijl.1999.0346>
- Stevens GC. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *Am. Nat.* 140(6):893-911. doi: <https://doi.org/10.1086/285447>
- Stryszowska KM, Johnson G, Mendoza LR, Langen TA. 2016. Species distribution modeling of the Threatened Blanding's Turtle's (*Emydoidea blandingii*) range edge as a tool for conservation planning. *J. Herpetol.* 50:366-373. doi: <https://doi.org/10.1670/15-089>
- Troncoso-Palacios J. 2013. Revisión del estatus taxonómico de *Liolaemus donosoi* Ortiz, 1975 (Iguania: Liolaemidae). *Bol. Mus. Nac. Hist. Nat.* 62:119-127. [Revisado en: 21 dic 2019]. https://publicaciones.mnhn.gob.cl/668/articles-39504_archivo_01.pdf
- [UICN] Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2012. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición: Gland y Cambridge. [Revisado en: 15 ene 2021]. <https://www.iucn.org/es/content/categorias-y-criterios-de-la-lista-roja-de-la-uicn-version-3-1-segunda-edicion>
- Wiens JJ, Graham CH. 2005. Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36:519-539. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102803.095431>