

Informe  
Proyecto  
ARCLIM

# Bio- diversidad

 **ARCLIM**  
Atlas de Riesgo Climático  
Chile



## Equipo realizador:

---

### Patricio Plischoff

Centro de Cambio Global UC, Pontificia Universidad Católica de Chile

### David Uribe

Doctorante, Universidad de Melbourne, Australia

Santiago, Chile - 2020



### Este informe debe citarse de la siguiente manera:

Plischoff, P.; Uribe, D., 2020. Informe Proyecto ARClim: Biodiversidad. Centro de Cambio Global UC coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago.

## Preparado para:



ARClim es un proyecto del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile apoyado por el Programa Mundial de Evaluación y Gestión de Riesgos para la Adaptación al Cambio Climático (Pérdidas y Daños) por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

## Coordinado por:



Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2  
ANID/FONDAP/15110009



Centro Interdisciplinario de Cambio Global UC  
de la Pontificia Universidad Católica de Chile

## Desarrollado por:





Informe  
Proyecto  
ARCLIM

# Bio- diversidad

**ARCLIM**  
Atlas de Riesgo Climático  
Chile



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pág.	
1	<b>1. Introducción</b>
4	<b>2. Metodología</b>
4	2.1 Fuentes de información.
4	2.2 Evaluación del Riesgo climático.
9	2.3 Modelo de distribución de especies.
11	<b>3. Resultados</b>
11	3.1 Evaluación del Riesgo climático.
13	3.2 Modelo de distribución de especies.
16	<b>4. Conclusiones</b>
17	<b>5. Referencias</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.	
5	<b>Figura 1.</b> Distribución de los registros georeferenciados de flora (derecha) y fauna (izquierda).
6	<b>Figura 2.</b> A) Ejemplo de las unidades de análisis (píxeles) en Chile continental. B) Cálculo del límite superior de las variables climáticas por especie y para el conjunto presente en un píxel. C) Histograma de frecuencia de los límites climáticos para el conjunto de especies en un píxel.
6	<b>Figura 3.</b> Cálculo del Riesgo al cambio climático para el componente biodiversidad. Amenaza es estimada desde la proyección de clima futuro, utilizando dos variables: temperatura promedio anual (°C) y precipitación media anual (mm). Exposición es la superficie de vegetación natural disponible, según categoría de conservación en la lista roja de ecosistemas de Chile (Pliscoff 2015). Margen de seguridad se refiere a cuán cerca están las condiciones climáticas en un píxel respecto del límite superior esperado de las especies que se distribuirían en el mismo píxel en el futuro. Capacidad adaptativa es la amplitud de nicho de cada especie de flora/fauna. Sensibilidad es el margen de seguridad multiplicado por la Capacidad adaptativa.
7	<b>Figura 4.</b> Ejemplo de estructura de mapas con resultados para biodiversidad. A) Amenaza para temperatura promedio y precipitación anuales. B) Exposición según categoría de Amenaza de la lista roja de ecosistemas de Chile (EP: En Peligro, EPC: En Peligro crítico, FP: Fuera de peligro, V: Vulnerable,) C) Sensibilidad para la flora (izquierda) y D) fauna (derecha), definida a partir de la temperatura promedio anual (MAT) y de la precipitación anual (MAP). Valores normalizados en escala 0 a 1, donde 1 indica mayor Sensibilidad.
8	<b>Figura 5.</b> Ejemplo de estructura de mapas con resultados para biodiversidad. Margen de seguridad para la A) flora y B) fauna. Capacidad adaptativa para C) flora y D) fauna, definida a partir de la temperatura promedio anual (MAT) y la precipitación promedio anual (MAP). Valores normalizados en escala 0 a 1, donde 1 indica mayor Margen de seguridad y Capacidad adaptativa.

Pág.

**12 Figura 6.**

Riesgo al cambio climático para la A) flora y B) fauna, definido a partir de la temperatura promedio anual (MAT) y la precipitación promedio anual (MAP). Valores normalizados en escala 0 a 1, donde 1 indica mayor Riesgo..

**12 Figura 7.**

Riesgo al cambio climático para la A) flora y B) fauna, expresado por comunas, definido a partir de la temperatura promedio anual (MAT) y la precipitación promedio anual (MAP). Valores normalizados en escala 0 a 1, donde 1 indica mayor Riesgo.

**13 Figura 8.**

Proyección actual y futura para la especie de fauna amenazada *Chloephaga hybrida*. Las zonas en color azul indican mayor probabilidad de presencia de la especie.

**14 Figura 9.**

Proyección actual y futura para las especies de flora amenazadas. Las zonas en color azul indican mayor probabilidad de presencia de la especie.











# 1

# INTRO- DUCCIÓN

El calentamiento global de origen antrópico produce una serie de respuestas en los distintos niveles de la biodiversidad (genes, especies, ecosistemas y paisajes) y sus efectos podrían producir extinciones para un gran número de especies (Thomas *et al.* 2004; Pecl *et al.* 2017). Entre las respuestas más conocidas y estudiadas en todo el mundo, se encuentra la distribución geográfica de especies y ecosistemas (Walther *et al.* 2002, Parmesan *et al.* 2003), con un patrón de movimiento latitudinal (hacia los polos) y longitudinal (hacia zonas de mayor altitud) (Root *et al.* 2003, Parmesan 2006).

Los movimientos de las especies implican una reestructuración de las comunidades y ecosistemas de los que forman parte y, por lo tanto, un cambio en la magnitud de los servicios que prestan para el bienestar humano (Schröter *et al.* 2005). Las modificaciones en los rangos de distribución pueden ser considerados como una respuesta de las especies tendiente a evadir condiciones térmicas extremas (Walther *et al.* 2005). A pesar de la comprobación de la existencia del patrón de variación latitudinal y altitudinal, la respuesta de cada especie se verá influenciada por cómo reaccione el conjunto de otros organismos con

los que interactúa y del grado de intensidad de dicha interacción.

Las proyecciones de cambio climático y sus efectos en la biodiversidad de Chile se han analizado en los últimos años tanto para especies como para ecosistemas (Marquet *et al.*, 2010).

Los análisis para especies presentan, en general, una disminución en las áreas de distribución actual, independiente del grupo taxonómico de la especie analizada y de la zona del país (Santelices *et al.* 2012; Cuyckens *et al.* 2016; Atala, *et al.* 2017). En los ecosistemas terrestres de Chile continental también se han realizado estudios (Bambach *et al.* 2013; Santibáñez, *et al.* 2013; Luebert y Plissock, 2017). Los resultados siguen los principales patrones globales de distribución: el movimiento ascendente de la costa a las montañas y el movimiento hacia los polos (desde los ecosistemas del norte hacia el sur) en busca de áreas más húmedas.

Como objetivo principal de este trabajo, se propone generar un mapa de vulnerabilidad frente al cambio climático para



dos niveles de organización de la biodiversidad (especies y ecosistemas) en Chile continental. Se presentan dos enfoques metodológicos para analizar la vulnerabilidad de la biodiversidad al cambio climático.

El **primer enfoque** metodológico busca determinar los límites de tolerancia climática de las especies bajo escenarios futuros, lo que permite evaluar la Capacidad adaptativa y el Riesgo de las especies frente al cambio climático. Al determinar la tolerancia climática de cada especie, es posible extraer estos valores en todas las especies por unidad de análisis (cuadrante o píxel) y, luego, transfe-

rirlos a nivel de ecosistemas. El **segundo enfoque** busca modelar la distribución potencial de especies de flora y fauna presentes en Chile continental. Este enfoque permite modelar la distribución de una especie/ecosistema, utilizando los registros de ocurrencia georreferenciados y variables ambientales explicativas, que permiten definir la distribución potencial en el espacio geográfico.

A continuación, se detallan las fuentes de información y los pasos metodológicos para definir la vulnerabilidad en los dos enfoques, tanto para especies como para ecosistemas.









# 2 METODO- LOGÍA

## 2.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

---

Se generó una base de datos de ocurrencias de especies de flora y fauna, a partir de la información existente para Chile en las bases de datos globales de biodiversidad disponibles: Global Biodiversity Information Facility (GBIF)<sup>1</sup> y Botanical Information and Ecological Network (BIEN)<sup>2</sup>. Se extrajo los datos de presencia georeferenciada para especies de flora y fauna en GBIF y sólo para flora en el caso de BIEN. La base de datos de ocurrencia se depuró, eliminando registros que no poseen georreferencia o que esta no coincide con los rangos descritos en la literatura; se eliminaron, además, los registros que no coincidieron con la temporalidad de las variables climáticas que se utilizaron para establecer la vulnerabilidad al cambio climático y para modelación de distribución (período 1980 - 2010). Los datos finales incorporados corresponden a 181.000 registros que representan a 3.686 especies de flora y 184.368 re-

gistros que corresponden a 580 especies de fauna (**Figura 1**). Como definición de ecosistema terrestre se utilizan los pisos vegetacionales de Chile, presentados en la propuesta de sinopsis bioclimática y vegetación del Chile (Luebert y Pliscoff, 2017). Esta clasificación define 125 unidades para Chile continental. La información climática se extrajo del modelo regional desarrollado por el CR2. Este modelo permite obtener un conjunto de variables climáticas para dos períodos temporales: actual (1980 - 2010) y futuro (2035 - 2065). La resolución espacial para Chile continental de las variables climáticas es de 5 km.

## 2.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO

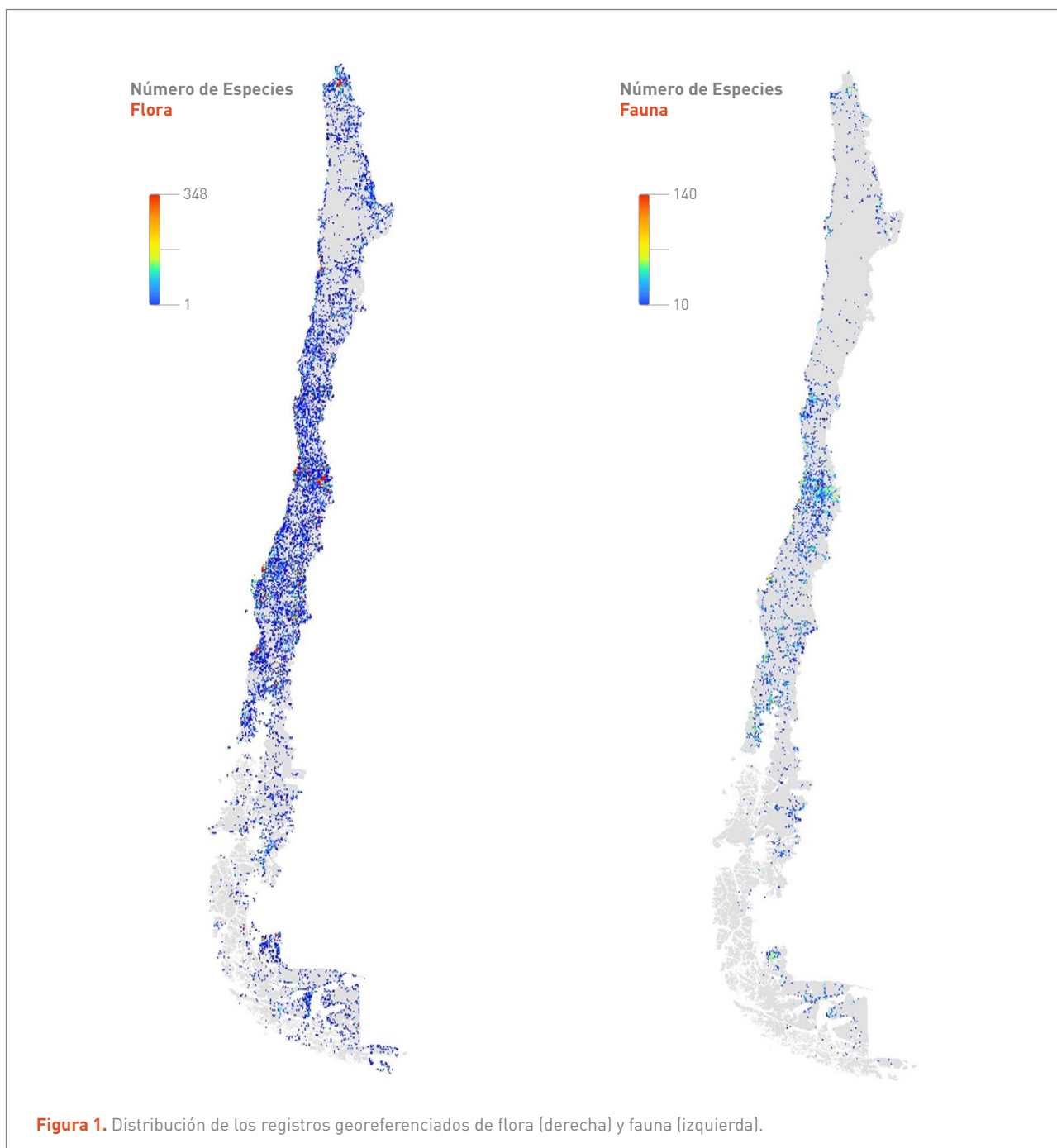
---

El primer enfoque utiliza la base de datos final de ocurrencias de flora y fauna, extrayendo los valores actuales

---

<sup>1</sup> <https://www.gbif.org/>

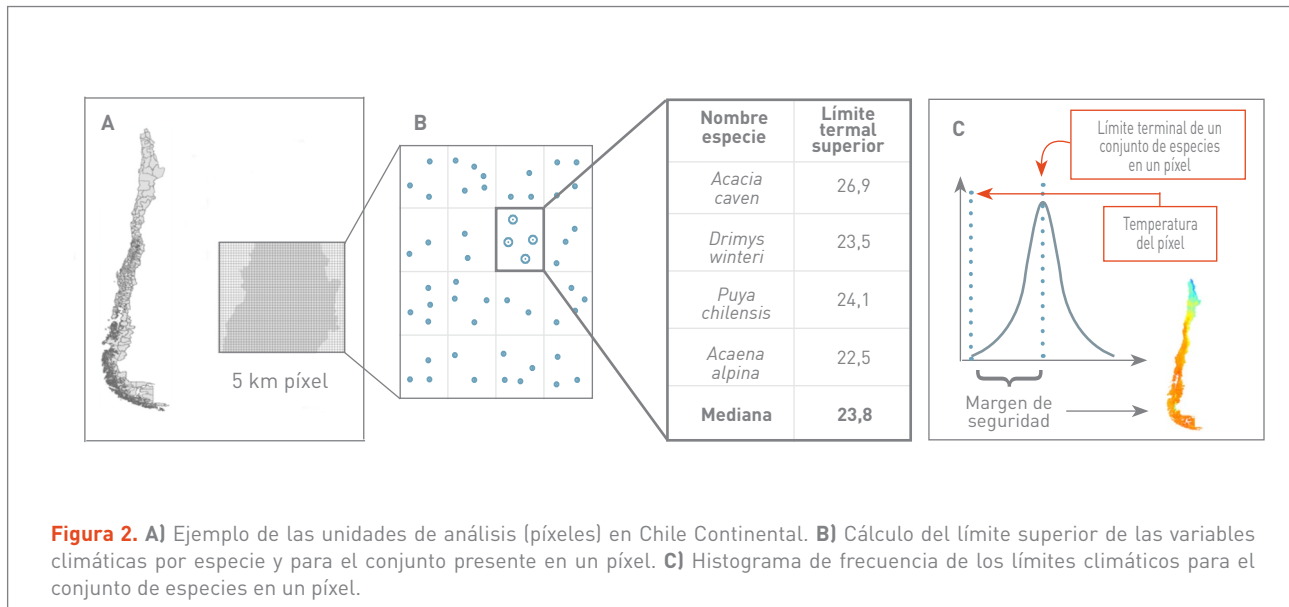
<sup>2</sup> <https://bien.nceas.ucsb.edu/bien/>



y futuros de los parámetros climáticos de temperatura promedio y precipitación anuales por especie. Esta metodología se basa en el concepto de márgenes de seguridad en la respuesta de las especies a variaciones producto del cambio climático, a partir de la caracterización de su tolerancia actual (Gallagher *et al.* 2019). Se dividió a Chile continental en cuadrantes de 5 km (misma resolución que el modelo climático regional) y se extrajeron los valores

máximos de precipitación y de temperatura para todas las especies presentes en cada cuadrante. La diferencia entre la mediana de la distribución actual de cada especie y su promedio a largo plazo (actual vs. escenario futuro) en el cuadrante define el margen de seguridad de la especie frente al cambio climático. Luego, esta métrica se puede mapear en todo Chile continental.

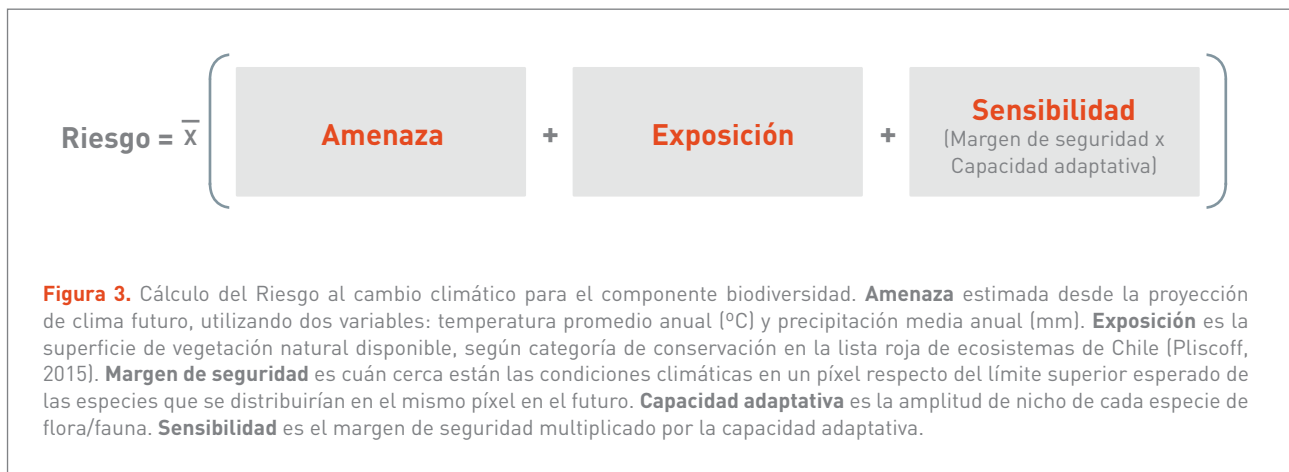




Fuente: Modificado de Gallagher et al. 2019.

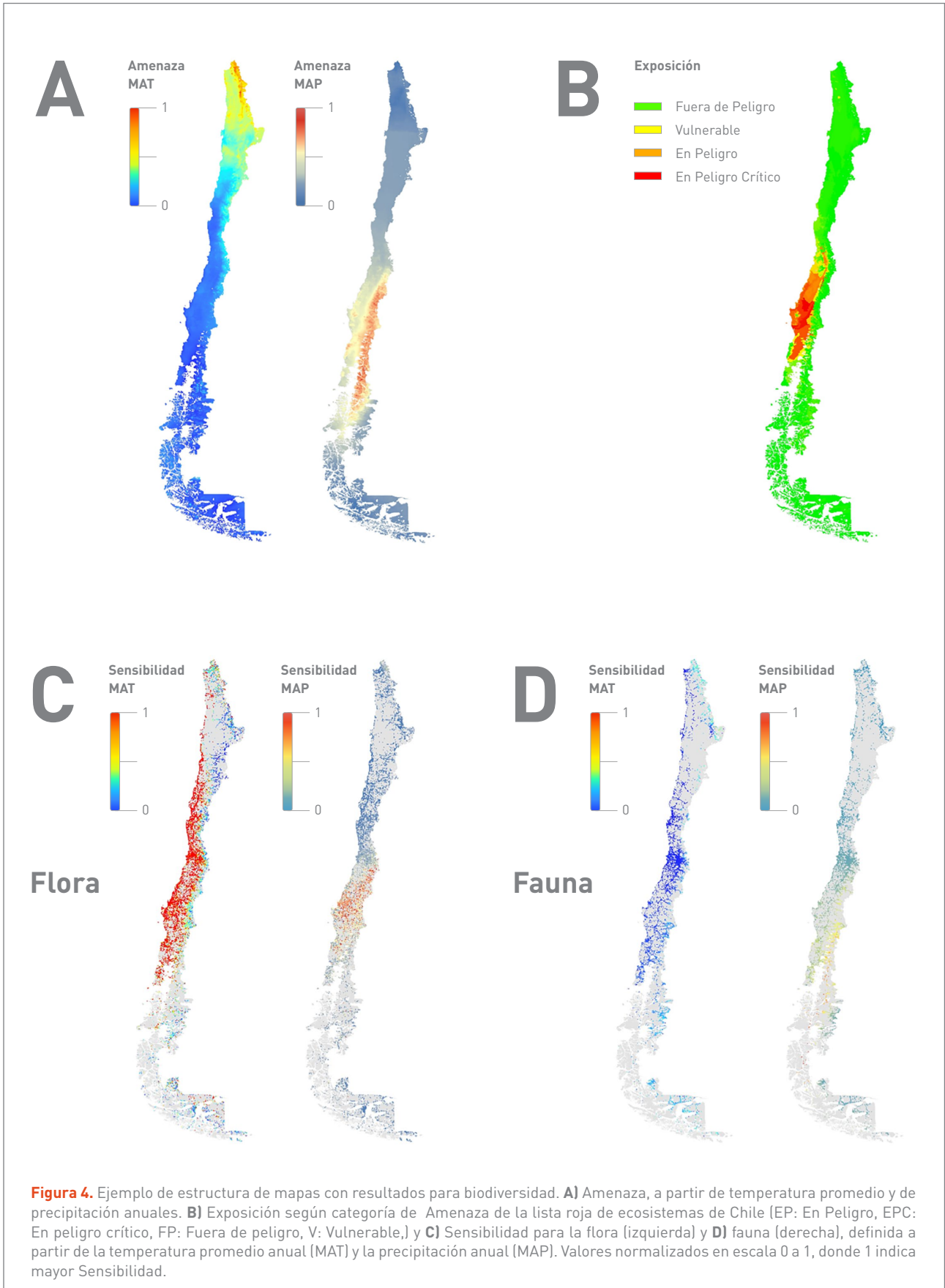
El Riesgo al cambio climático se definirá por la fórmula  $Riesgo = Promedio (Amenaza + Exposición + Sensibilidad)$  (Figura 3). Donde, **Amenaza** corresponde a la diferencia entre el clima actual y el futuro (definido para la temperatura media anual y precipitación anual); **Exposición** se define a partir de la categoría de conservación en la lista roja de ecosistemas de Chile (Pliscoff 2015), que representa la disponibilidad de superficie con vegetación natural en cada ecosistema; **Sensibilidad** se obtiene de la multiplicación entre el Margen de seguridad (la diferencia entre la mediana del límite climático observado en todas las especies

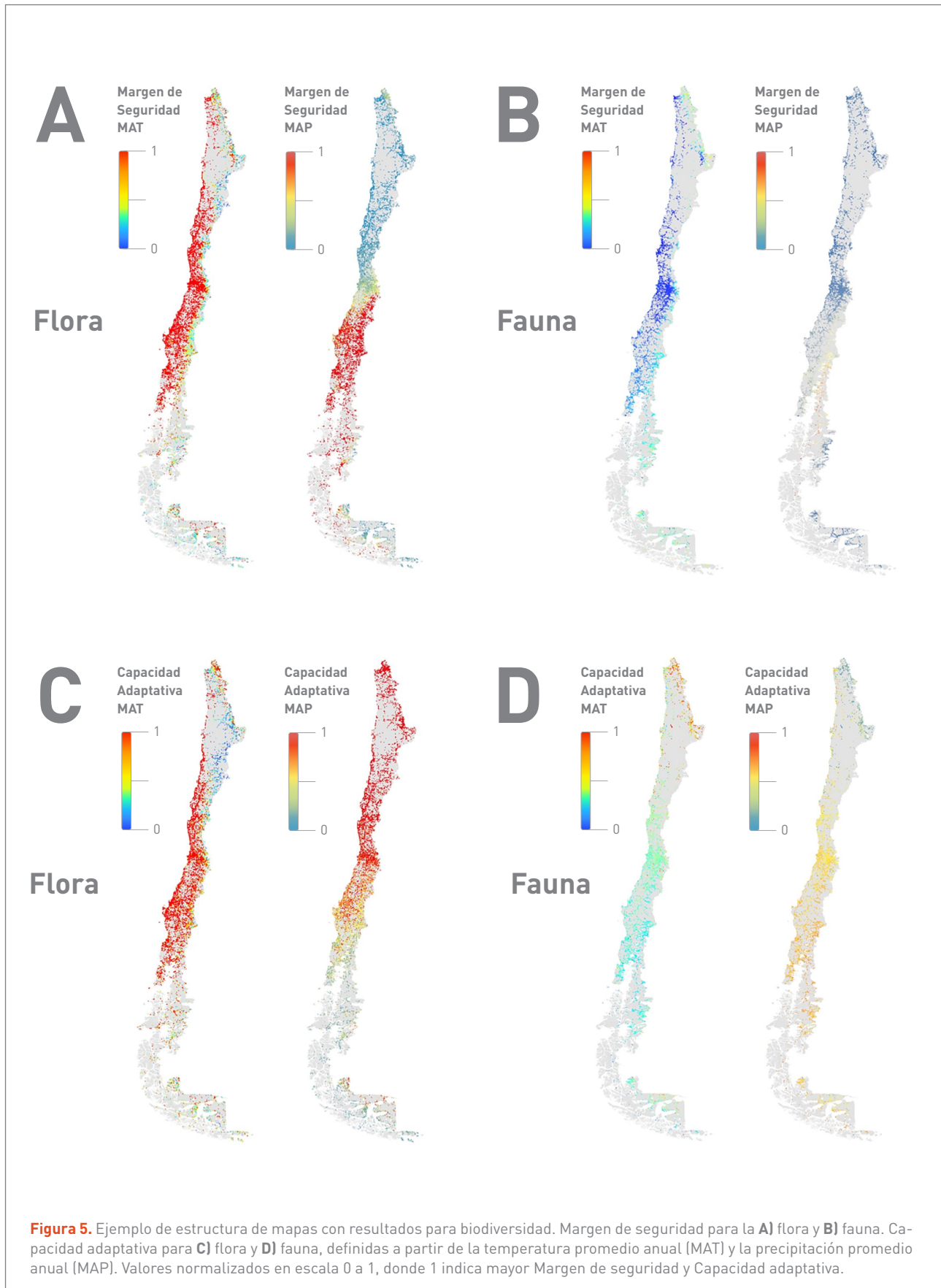
presentes en un píxel y las condiciones climáticas medias a largo plazo) y la Capacidad adaptativa de las especies (amplitud de nicho, que para este análisis corresponde a la amplitud climática). El **Riesgo** representa la desviación de los márgenes climáticos actuales respecto del futuro que podrían soportar el conjunto de especies de flora y fauna en un píxel de 5 km. Finalmente, se agrupan los valores de Riesgo en cuantiles, para obtener cinco niveles (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto) para flora y fauna por comunas a escala nacional.



**Figura 3.** Cálculo del Riesgo al cambio climático para el componente biodiversidad. **Amenaza** estimada desde la proyección de clima futuro, utilizando dos variables: temperatura promedio anual (°C) y precipitación media anual (mm). **Exposición** es la superficie de vegetación natural disponible, según categoría de conservación en la lista roja de ecosistemas de Chile (Pliscoff, 2015). **Margen de seguridad** es cuán cerca están las condiciones climáticas en un píxel respecto del límite superior esperado de las especies que se distribuirían en el mismo píxel en el futuro. **Capacidad adaptativa** es la amplitud de nicho de cada especie de flora/fauna. **Sensibilidad** es el margen de seguridad multiplicado por la capacidad adaptativa.

3 <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>





**Figura 5.** Ejemplo de estructura de mapas con resultados para biodiversidad. Margen de seguridad para la **A)** flora y **B)** fauna. Capacidad adaptativa para **C)** flora y **D)** fauna, definidas a partir de la temperatura promedio anual (MAT) y la precipitación promedio anual (MAP). Valores normalizados en escala 0 a 1, donde 1 indica mayor Margen de seguridad y Capacidad adaptativa.





## 2.3 MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

Además del enfoque metodológico de cálculo de Riesgo al cambio climático, se agregó un análisis complementario que la distribución potencial actual de un conjunto de especies de flora y fauna, utilizando el software Maxent 3.3.6 (Phillips *et al.* 2006). Se seleccionaron especies presentes en la última versión del listado de especies amenazadas del Ministerio de Medio Ambiente<sup>3</sup> y que cumplan con el criterio de un número mínimo de 20 registros únicos georreferenciados en la base de datos de ocurrencias obtenidas de GBIF y BIEN.

Con este criterio de selección, se pudo modelar seis especies de flora y una especie de fauna amenazada. Para ajustar el modelo, se utilizaron las ocurrencias obtenidas de la base de datos y, como variables explicativas, se usó temperaturas mínima y máxima, humedad relativa, radiación solar y precipitación, generadas por el modelo regional del CR2. Finalmente, la distribución potencial actual se proyectó en un escenario futuro (2035 - 2065), obteniendo la distribución actual y futura de cada especie modelada.







# 3

## RESULTADOS

### 3.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO

---

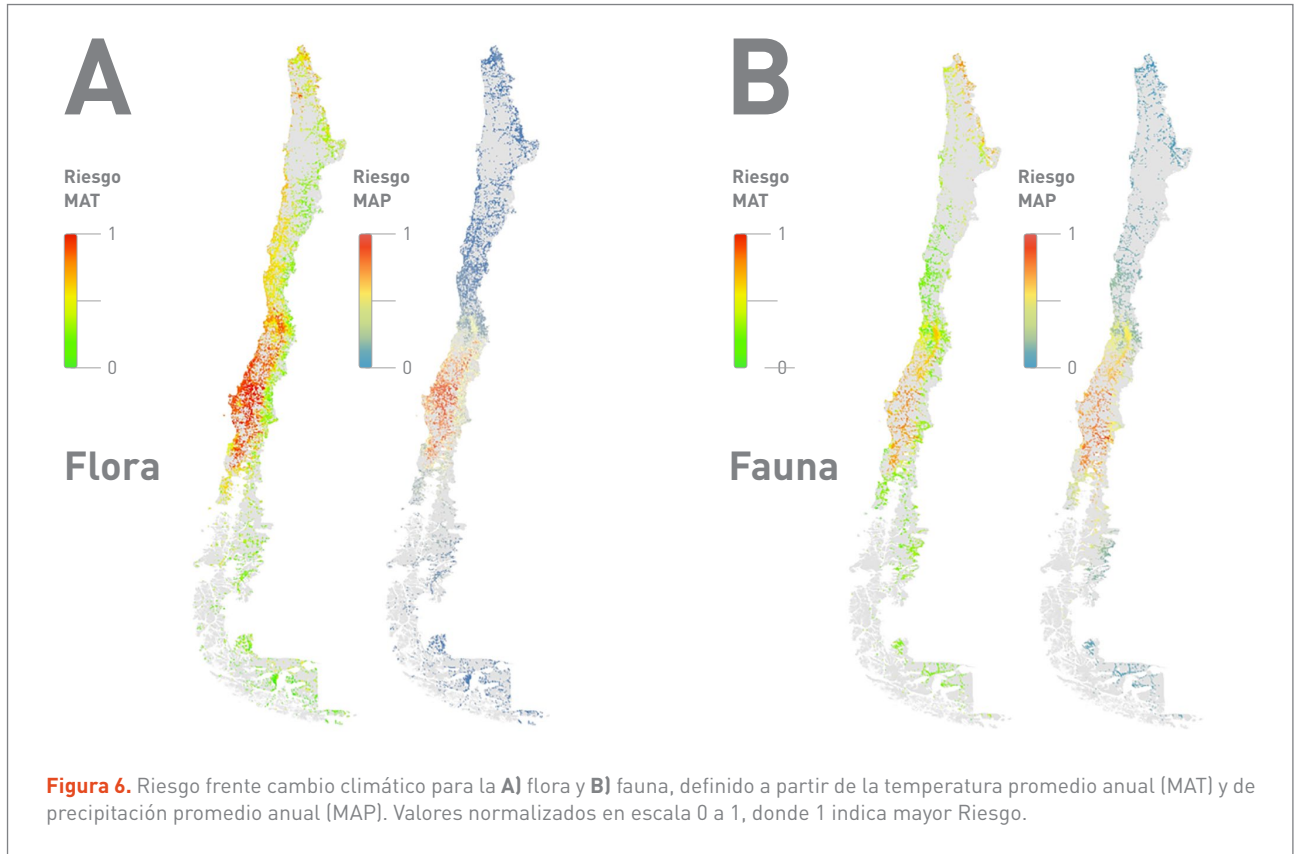
El resultado de la aplicación de la metodología de evaluación del Riesgo frente al cambio climático del componente biodiversidad permitió mapear Chile continental en cuatro escenarios (**Figura 6**), los que representan el Riesgo de las especies de flora y fauna a partir de la variación futura de temperaturas y de precipitación.

Respecto de la flora, los resultados presentan patrones similares para temperaturas y para precipitación, donde el área de mayor Riesgo se concentra en la zona centro sur, entre las regiones de Valparaíso y de Los Lagos, específicamente, en los sectores costero e interior. En el caso particular de temperatura se observan altos valores también en el sector costero del norte, desde la Región de Antofagasta a la de Coquimbo, y en áreas del Altiplano de la Región de Arica y Parinacota.

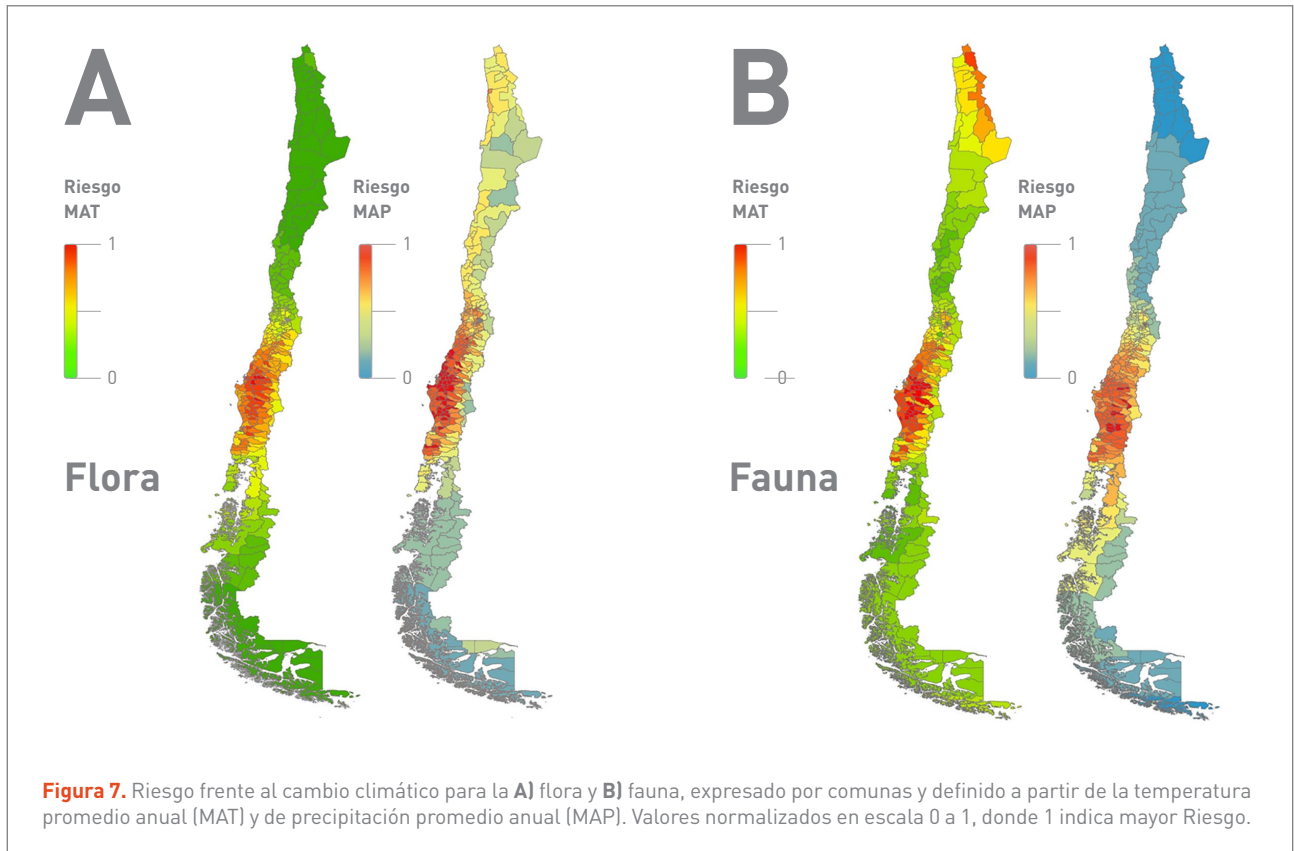
La zona centro sur también concentra mayor Riesgo en cuanto a la fauna. En el caso de la temperatura se obtiene un patrón similar al de la flora, pero se suma como área de mayor Riesgo el Altiplano de la Región de Antofagasta.

Estos resultados se explican, principalmente, por la combinación entre la Exposición y la Sensibilidad, ya que ambos se concentran en la zona centro sur. En el caso de la Exposición, las zonas más expuestas corresponden a las que han perdido mayor superficie de vegetación natural, debido a los procesos de cambio de uso de suelo. Esto se relaciona con la Sensibilidad de las especies, debido a que la zona centro sur combina el mayor número de especies (riqueza) con rangos de distribución restringida. Por lo tanto, cambios mayores en la temperatura (aumento) y en las precipitaciones (disminución) producirán un mayor efecto en estas áreas. En la **Figura 7**, se expresan los mismos resultados, pero promediados por comuna.





**Figura 6.** Riesgo frente cambio climático para la **A)** flora y **B)** fauna, definido a partir de la temperatura promedio anual (MAT) y de precipitación promedio anual (MAP). Valores normalizados en escala 0 a 1, donde 1 indica mayor Riesgo.

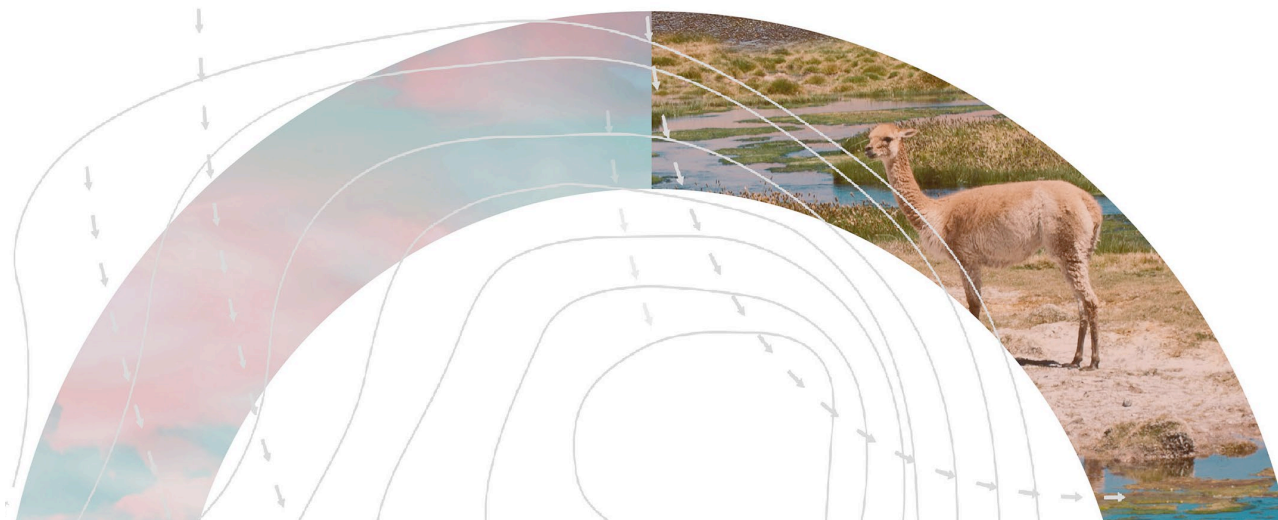
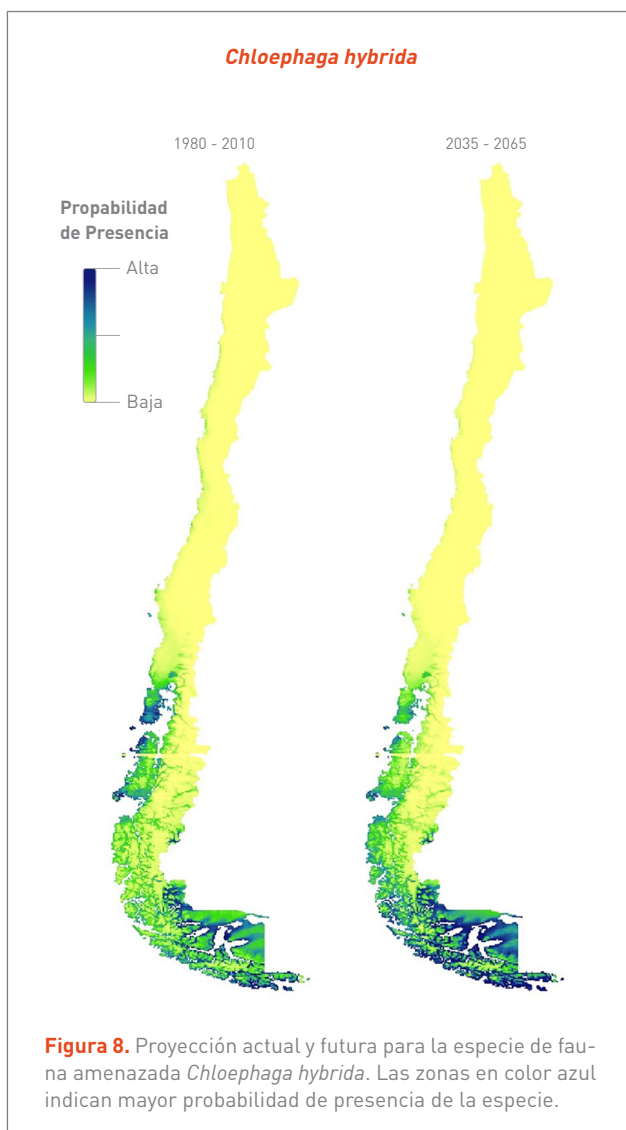


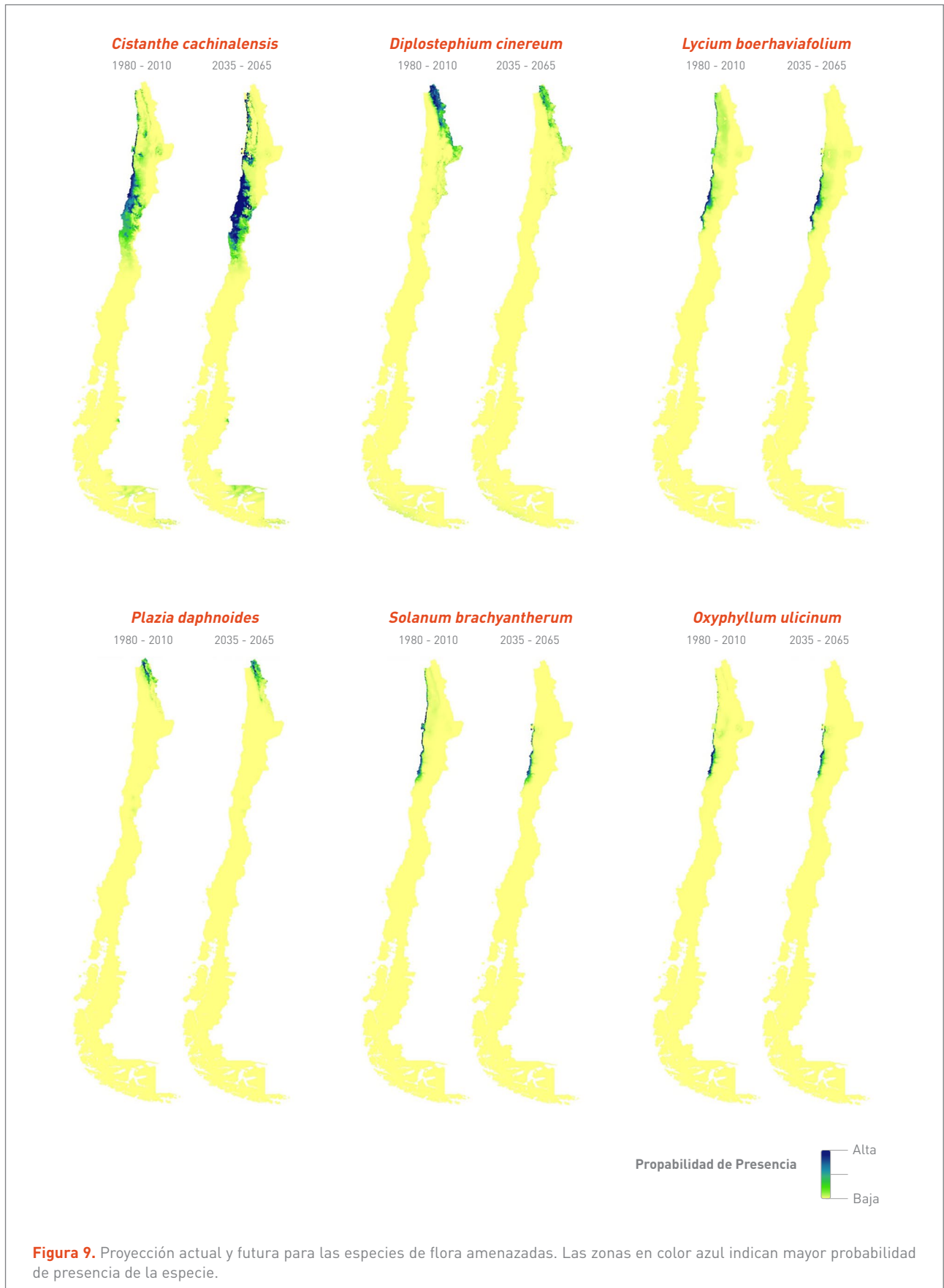
**Figura 7.** Riesgo frente al cambio climático para la **A)** flora y **B)** fauna, expresado por comunas y definido a partir de la temperatura promedio anual (MAT) y de precipitación promedio anual (MAP). Valores normalizados en escala 0 a 1, donde 1 indica mayor Riesgo.

## 3.2 MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

Los resultados de los modelos de distribución de especies permiten identificar los patrones de cambios en la distribución futura de las especies amenazadas modeladas (Figuras 8 y 9). En general, todas las especies siguen los patrones globales de respuesta al cambio climático, desplazando su área climática adecuada en un sentido latitudinal (norte a sur), y en el caso de las especies con distribución actual más restringida se observa una contracción en su área adecuada en el futuro.

De las especies analizadas, las distribuidas actualmente en las zonas altiplánicas de las regiones de Arica y Parinacota, de Tarapacá y de Antofagasta presentan una respuesta diferenciada: la de mayor distribución (*Diplostephium cinereum*) presenta una contracción de su rango de distribución en el futuro, mientras que la más restringida (*Plazia daphnoides*) mantiene estable su distribución actual. Las especies ubicadas en el sector costero de las regiones de Antofagasta y de Atacama presentan una respuesta similar, disminuyendo su rango en el futuro, especialmente, hacia los extremos de su distribución. Finalmente, las especies Amenazadas con mayor rango de distribución en el presente amplían su distribución hacia sectores de mayor altitud (*Cistanthe cachinalensis*) y latitud (*Chloephaga hybrida*).









565







# 4

## CONCLU- SIONES

Las principales conclusiones del análisis realizado en el componente biodiversidad se identifican en los patrones espaciales del Riesgo frente al cambio climático y en las respuestas del espacio climático actual ante el cambio futuro del clima.

La zona centro sur presenta el mayor Riesgo frente a las variaciones futuras en el clima. Este Riesgo se podría expresar en una menor capacidad de las especies, tanto de flora y fauna, para permanecer en las áreas donde actualmente reconocemos su distribución y presencia. En el caso del movimiento futuro de las distribuciones de las especies, se observa una respuesta que es dependiente de la zona geográfica y de la amplitud del rango de distribución. Combinando ambos resultados, se prevé que especies, de flora o de fauna, que se distribuyen actualmente en la zona centro sur y que tienen rangos de distribución restringidos serán las más afectadas, en términos negativos, por efecto del cambio climático.

En relación con las brechas de información y las limitaciones metodológicas de este análisis, se debe señalar que los resultados representan un nivel de organización de la biodiversidad (especies), dos grupos taxonómicos (flora vascular y animales vertebrados) y en el ámbito terrestre. Se excluyen, por falta de información, niveles de organización clave para la adaptación al cambio climático, como es el genético. También se excluyen grupos taxonómicos como la flora no vascular o los invertebrados y no se incluye ningún análisis en el ámbito marino o dulceacuícola. Existen algunos aspectos que ya se están trabajando y que podrían mejorar los análisis aquí presentados, como la incorporación de bases de datos de ocurrencias geográficas en repositorios abiertos. Todas estas brechas deberían ser incorporadas en próximas evaluaciones, de modo de obtener análisis más exhaustivos y representativos del efecto del cambio climático en la biodiversidad en Chile.

# 5

## REFERENCIAS

- Atala, C., Muñoz-Tapia, L., Pereira, G., Romero, C., Vargas, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Molina-Montenegro, M. A. y Brito, E. (2017). *The effect of future climate change on the conservation of Chloraea disoides Lindl. (Orchidaceae) in Chile*. Brazilian Journal of Botany, 40(1), 353-360.
- Bambach, N., Meza, F. J., Gilabert, H. y Miranda, M. (2013). *Impacts of climate change on the distribution of species and communities in the Chilean Mediterranean ecosystem*. Regional Environmental Change, 13(6), 1245-1257.
- Cuyckens, G. A. E., Christie, D. A., Domic, A. I., Malizia, L. R. y Renison, D. (2016). *Climate change and the distribution and conservation of the world's highest elevation woodlands in the South American Altiplano*. Global and Planetary Change, 137(137), 79-87.
- Gallagher, R. V., Allen, S. y Wright, I. J. (2019). *Safety margins and adaptive capacity of vegetation to climate change*. Scientific Reports, 9(1):8241
- Luebert, F. y Plischoff, P. (2017). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Segunda Edición, Editorial Universitaria, Santiago.
- Marquet, P. A., Abades, S., Armesto, J., Barría, I., Arroyo, M. T. K., Cavieres, L., Gajardo, R., Garín, C., Labra, F., Meza, F., Plischoff, P., Prado, C., Ramírez, P. y Vicuña, S. (2010). *Estudio de la biodiversidad terrestre en la ecorregión Mediterránea, a nivel de ecosistemas y especies, y medidas de adaptación frente a escenarios de cambio climático*. Santiago, Chile. CONAMA.
- Parmesan, C. y Yohe, G. (2003). *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems*. Nature 421, 37-42.
- Parmesan, C. (2006) *Responses to Recent Climate Change*. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 37: 637-69.
- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I.-C. y Williams, S. E. (2017). *Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being*. Science, 355(6332), eaai9214.
- Phillips, S., Anderson, R. y Schapire, R. (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. Ecological Modelling 190:231-259.
- Plischoff, P. (2015). *Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para la evaluación de Riesgo de los ecosistemas terrestres de Chile*. Informe Técnico elaborado por Patricio Plischoff para el Ministerio del Medio Ambiente. 63 p. Santiago, Chile.





- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C. y Pounds, J. A. (2003). *Fingerprints of global warming on wild animals and plants*. *Nature* 421, 57–60.
- Santelices, R., Drake, F., Mena, C., Ordenes, R. y Navarro-cerrillo, R. M. (2012). *Current and potential distribution areas for *Nothofagus alessandrii*, an endangered tree species from central Chile*. *Ciencia e Investigación Agraria*, 39(3), 521-531.
- Santibáñez, F., Santibáñez, P., Caroca, C., González, P., Gajardo, N., Perry, P., Simonetti, J. y Pliscoff, P. (2013). *Plan de acción para la protección y conservación de la biodiversidad, en un contexto de adaptación al cambio climático*. Santiago, Chile. Ministerio de Medio Ambiente - Fundación Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, 224 p.
- Schröter, D., W. Cramer, R. Leemans *et al.* (2005) *Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe*. *Science* 310: 1333-1337.
- Thomas C. D., E. J. Bodsworth, R. J. Wilson, A. D. Simmons, Z. G. Davies, M. Musche y Conradt, L. (2001) *Ecological and evolutionary processes at expanding range margins*. *Nature* 411:577-581.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O. y Bairlein, F. (2002). *Ecological responses to recent climate change*. *Nature* 416, 389–395.
- Walther, G. R., Beissner, S. y Burga, C. A. (2005). *Trends in the upward shift of alpine plants*. *Journal of Vegetation Science*. 16, 541–548.

