



Universidad Nacional de la Patagonia  
San Juan Bosco

Tesis de grado

Lic. en Protección y Saneamiento Ambiental

Modelos de distribución de *Neltuma denudans*  
(Benth.) C.E. Hughes & G.P. Lewis y *N.*  
*alpataco* (Phil.) C.E. Hughes & G.P. Lewis bajo  
escenarios de cambio climático en la  
Región Patagónica

Alumno: Marina Aguilar

Director: Dra. Mariana Buzzi

Co- director: Esp. Mariana Quezada

Año 2025

## ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. OBJETIVOS.....	9
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	9
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
5.1 Variable respuesta	
5.2 Variables explicativas	
5.3 Elaboración de los modelos de distribución potencial actual de las especies	
5.4 Evaluación de los modelos	
5.5 Modelos de distribución en función de dos escenarios de cambio climático	
6. RESULTADOS.....	17
6.1 Modelos de distribución potencial actual	
6.2 Modelos de distribución potencial bajo escenarios de cambio climático	
6.3 Áreas de idoneidad en condiciones climáticas actuales y futuras	
7. DISCUSIÓN.....	30
8. CONCLUSIONES.....	32
9. BIBLIOGRAFIA.....	33
ANEXOS.....	40
ANEXO I: Registros de presencia	
ANEXO II: Matriz de contribución de variables bioclimáticas, topográficas y ambientales	
ANEXO III: Áreas de idoneidad ambiental	

## 1. RESUMEN

El cambio climático se define como un cambio de clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que puede alterar gravemente los sistemas terráqueos, contraviniendo los mecanismos de autorregulación natural. Cuando se presentan estas fluctuaciones se registran cambios en la biodiversidad del planeta, especialmente en ambientes frágiles como los áridos y semiáridos. En este contexto, la distribución de las especies vegetales puede verse afectada debido a que están asociadas a un rango térmico, de humedad y radiación que influyen en su fenología y fisiología. Las leguminosas son componentes naturales de gran importancia en la composición arbustiva de estos ecosistemas, entre ellas se encuentra el género *Neltuma* (Fabaceae, Mimosoideae). Particularmente, en Patagonia dos de las especies registradas con mayor frecuencia son *N. denudans* y *N. alpataco*. El avance en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha propiciado el desarrollo de modelos que se basan en la correlación entre los registros de presencia de una especie y las variables ambientales para predecir su distribución potencial. Uno de los algoritmos más consistente basados en datos de presencia es Maxent, que no solo permite estimar la distribución potencial de una especie en condiciones conocidas, sino también predecir su distribución más probable ante distintos escenarios de cambio climático mediante el uso de Modelos de Circulación General del Clima (GCMs). Estas proyecciones permiten identificar áreas con mayor idoneidad ambiental, donde las condiciones óptimas favorecen la presencia y abundancia de la especie, mientras que las zonas de menor idoneidad reflejan condiciones restrictivas con poblaciones más escasas. Esta información es de utilidad para evaluar posibles procesos de contracción / expansión, desplazamiento y/o fragmentación de su rango de distribución. En este trabajo se analizará la distribución potencial de las especies *N. denudans* y *N. alpataco* con y sin generación de posibles escenarios de cambio climático. Para la elaboración de los modelos se utilizaron registros de presencia de las especies en la región Patagónica, obtenidos a partir de relevamientos de campo, fuentes bibliográficas y bases de datos internacionales. Por otro lado, se emplearon diecinueve variables bioclimáticas, tres topográficas y dos ambientales, utilizando fuentes como WorldClim, NASA, USGS y CGIAR CSI. A través del algoritmo MaxEnt, se generaron modelos de distribución potencial para cada especie, utilizando un 75% de los registros para calibrar los modelos y el 25% restante para validarlos. Para evitar sobreajuste, se seleccionaron las 5 variables más importantes y no correlacionadas. Las proyecciones de distribución potencial de las especies analizadas se realizaron bajo condiciones climáticas actuales como escenarios futuros, utilizando dos trayectorias de concentración representativas (RCP 4.5 y RCP 8.5). La evaluación de los modelos se efectuó mediante la curva ROC y el área bajo la curva (AUC), con el objetivo de estimar la precisión en la predicción de la distribución de las especies. Los resultados fueron analizados a través del análisis MESS para evaluar la idoneidad ambiental, y se calcularon los porcentajes de área de presencia y ausencia. Los resultados mostraron un buen desempeño de los modelos (AUC > 0.80). Las variables que contribuyeron significativamente en estos modelados están relacionadas con variables bioclimáticas vinculadas a la precipitación y la temperatura, así como también, la elevación y el Índice de aridez. En cuanto a la idoneidad ambiental, el área prevista para *N. denudans* en condiciones actuales es del 4.03%, reduciéndose al 2.75% bajo un escenario optimista (RCP 4.5) y al 2.73% bajo un escenario pesimista (RCP 8.5). Para *N. alpataco*, el área en condiciones actuales es del 6.12%, reduciéndose al 5.22% en un escenario optimista y al 3.61% en un escenario pesimista. Es decir, no se identificaron nuevas áreas adecuadas, lo que sugiere que, a pesar del aumento de temperatura previsto, no hay un desplazamiento hacia mayores latitudes. Sin embargo, se prevé que con el avance del cambio climático, las especies puedan enfrentar una reducción en sus áreas de idoneidad. Siguiendo esta línea, estudios previos han identificado una relación entre la temperatura de

germinación de las especies del género *Neltuma* y su distribución geográfica, siendo óptima en un rango de 25°C a 40°C, lo que sugiere una adaptación a temperaturas relativamente altas. Bajo este contexto, se plantea que el cambio climático impactará más en la distribución de estas especies debido a variaciones en el régimen de precipitaciones que al aumento de la temperatura. No obstante, los resultados obtenidos indican que la temperatura fue la variable con mayor contribución relativa en los modelos de distribución, lo que resalta su papel clave en los escenarios climáticos proyectados. Esto podría atribuirse a que, aunque las temperaturas futuras se mantuvieran dentro del rango de tolerancia térmica, la disminución de precipitaciones limitaría su establecimiento. Así, la distribución de ambas especies dependería de la interacción entre factores térmicos e hídricos que restringen su expansión en los escenarios climáticos proyectados. En conclusión, los modelos de distribución potencial, basados en registros de presencia limitados, ofrecen una estimación inicial del impacto del cambio climático. Por lo cual, este trabajo sienta las bases para el desarrollo de investigaciones orientadas a la conservación y manejo frente a escenarios climáticos futuros.

Palabras claves: cambio climático, modelos de distribución potencial, biodiversidad, región Patagónica, género *Neltuma*.

## 2. INTRODUCCIÓN

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2002), este se define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. Si bien la naturaleza por sí misma produce grandes fluctuaciones en su propio curso evolutivo, lo que diferencia a estas alteraciones de las inducidas por el hombre es que estas últimas desconocen y no respetan los mecanismos de autorregulación natural y pueden alterar gravemente los sistemas terráqueos (Bustamante Alsina, 1995). Cuando se presentan estas fluctuaciones se registran cambios en la biodiversidad del planeta (Trejo, 1983). Se ha documentado que el cambio climático afecta directa e indirectamente a individuos, poblaciones y especies, así como a los ecosistemas en su composición y función. A nivel de las poblaciones, estas variaciones dependen de las especies y su capacidad de respuesta a los cambios (Parmesan, 2006; Bravo Cadena et al., 2011). Es por esto que la distribución de las especies vegetales puede verse afectada debido a que están asociadas a un rango térmico, de humedad y radiación que influye en la fenología y fisiología de las mismas, determinando su distribución como consecuencia del aumento de la temperatura y la variación en el reparto de las precipitaciones asociadas al cambio climático (Galindo et al., 2004).

La importancia de los arbustos en los ecosistemas patagónicos se centra principalmente en que disminuyen la erosión producida por el viento y el agua, evitando el desgaste del relieve que es más susceptible en los suelos desnudos. El follaje y la hojarasca permiten que la precipitación sea absorbida por las capas superiores del suelo quedando disponible para las plantas (Shachak et al., 1998; Stavi & Lal, 2015). Por consiguiente, la pérdida de cobertura arbustiva disminuye la infiltración de agua y, en consecuencia, las posibilidades de establecimiento y crecimiento de plántulas (Holmgren & Scheffer, 2001). Razón por la cual, las interacciones de facilitación entre plantas resultan de importancia considerando que el reclutamiento no ocurre en espacios abiertos, sino bajo la sombra de árboles o arbustos nodriza (Del Pozo et al., 1989; Gutiérrez & Squeo, 2004; Becerra et al., 2018). A su vez, la cobertura arbustiva proporciona un mejoramiento en las relaciones hídricas de las plántulas (Holmgren et al., 1997; De Frenne et al., 2021), dado que las temperaturas del aire y suelo son más bajas, y el contenido de agua tiende a permanecer más elevado en las capas superficiales del suelo (Del Pozo et al., 1989; Encino-Ruiz et al., 2013), resultando en un menor estrés hídrico y térmico (Aguilar & Sala, 1994; Zamora et al., 2004). Asimismo, este efecto, en zonas áridas y semiáridas, no sólo está limitado a otorgar condiciones más favorables para la germinación y crecimiento de las plántulas, sino que además proporcionan un refugio a las mismas frente a la acción de los herbívoros (Gutiérrez & Squeo, 2004). La forma de crecimiento de los arbustos favorece la recolección de restos orgánicos transportados por el viento, formando parches o “islas de fertilidad”. La importancia, no es sólo por su capacidad de mantener la estructura física de los ambientes, sino también por su significativa contribución a la biodiversidad (Aguilar & Sala, 1999; Navarro et al., 2019).

Las leguminosas son componentes naturales de gran importancia en la composición arbustiva de las áreas áridas y semiáridas, entre ellas se encuentra el género *Neltuma* (Fabaceae, Mimosoideae), el cual se separó, recientemente, del género *Prosopis* (Hughes et al., 2022). En América este género se distribuye desde el sudoeste de Estados Unidos a lo largo de la cordillera de los Andes hasta Chile central y Argentina. De un total de 45 especies sudamericanas (Aguilar et al., 2023), 35 taxones están presentes en Argentina, extendiéndose desde la Prepuna hasta la Patagonia (Joseau et al., 2023); particularmente en esta última región, ciertas especies de *Neltuma* (ej: *N. flexuosa* DC., *N. alpataco* Phil., *N.*

*caldenia* Burkart y *N. denudans* Benth.) son algunas de las registradas con mayor frecuencia. Estas especies proporcionan múltiples beneficios a los ecosistemas donde habitan, tales como fuente para la fijación de nitrógeno, estructura y fertilidad del suelo, movilización de nutrientes, microclima que facilita el establecimiento de plántulas, alimento y refugio a animales silvestres y domésticos (Burkart, 1952; Villagra, 2000; Alvarez et al., 2009). *N. denudans* es una especie endémica de la Provincia Fitogeográfica Patagónica, característica de la Estepa en Santa Cruz, Chubut, Río Negro y Neuquén. Siendo poco frecuente en Río Negro, Neuquén y sur de Mendoza, en la Provincia Fitogeográfica del Monte (Burkart, 1976; Zuloaga et al., 2008; González, 2014). Se distribuye formando grupos más o menos numerosos en las estepas arbustivas y matorrales. Es un arbusto que alcanza los 2 m de altura, muy ramoso, y presenta espinas axilares, solitarias, gruesas y rígidas. Las ramas nuevas se distinguen por su color rojizo brillante. Las hojas son caedizas, bipinnadas, con 1 a 4 pares de folíolos lineales por hoja. Las flores son espigas amarillas, dispuestas en racimos axilares o fasciculados, cortamente pedunculados sobre braquiblastos. Los frutos son legumbres indehiscentes de forma curvada, fuerte aroma, color marrón oscuro brillante cuando se hallan maduras y pueden permanecer por largos períodos en la planta (Zuloaga & Morrone, 2008). *N. alpataco* es una especie endémica del oeste de la Argentina, característica de la provincia del Monte, es común en Mendoza, San Juan, San Luis, Neuquén, La Pampa, Río Negro, y el extremo sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Zuloaga & Morrone, 2008). Es un arbusto que forma matas subcirculares de hasta 10 m de diámetro y 3 m de alto. Sus ramas presentan pares de espinas axilares uninodales, las basales están siempre enterradas, mientras que, las secundarias son erectas y de color rojo oscuro cuando son jóvenes. Las hojas son uni o biyugas, laxas y deciduas, con folíolos lineales, opuestos y obtusos, y los frutos son generalmente falcados de color amarillo. En cuanto los artejos son irregulares y transversales al eje del fruto (Roig, 1987; Riveros et al., 2011).



Imagen 1. Ejemplares de *N. denudans* (izq.) y *N. alpataco* (dcha.)

Actualmente, el avance en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ha propiciado el desarrollo de modelos con base en variables ambientales para predecir la distribución de especies, considerando que, estas no se encuentran distribuidas al azar sobre la tierra, sino que poseen distribuciones con límites más o menos reconocibles, resultado de procesos históricos y ecológicos (Escalante, 2009; Gámez et al., 2012). Estos modelos se fundamentan en la *Teoría del Nicho* descrita por Hutchinson (1957 & 1978), donde el concepto nicho ecológico se subdivide en Nicho Fundamental, el cual se define como el hipervolumen de  $n$ -dimensiones dentro del espacio definido por las variables ambientales dentro del cual la especie tendrá un crecimiento poblacional neutro o positivo, y Nicho Realizado que corresponde a un subconjunto del nicho fundamental, teniendo en cuenta únicamente la fracción que realmente es ocupada por la especie resultado de las interacciones bióticas.

La correlación entre los registros de presencia de una especie y las condiciones ambientales asociadas, permite definir estos dos aspectos: 1) el nicho ecológico de una especie y 2) la distribución potencial de una especie (Pulliam, 2000). Estos modelos se desarrollan en dos espacios: 1) un espacio geográfico (bidimensional) y 2) un espacio ecológico o ambiental (multidimensional). El primero determina la posición geográfica dentro del planeta (latitud y longitud) en la que se registra la presencia de la especie. Por su parte, el segundo, es el espacio “n” dimensional representado por las variables ambientales; y es en el que se establece la correlación con los registros de presencia. A la correspondencia existente entre los espacios geográficos y ambientales se conoce como la “dualidad de Hutchinson” (Colwell & Rangel, 2009).

La base teórica del funcionamiento de los modelos se puede explicar mediante un esquema conocido como el "diagrama BAM" (Soberón & Peterson, 2005), el cual se fundamenta en la intersección de tres subconjuntos o factores en la geografía. El primer factor se refiere a la presencia de las condiciones bióticas (“B”) necesarias para la especie, el segundo factor corresponde con las condiciones abióticas (“A”); es decir, las variables ambientales; y finalmente, el tercer factor, que representa el área o espacio geográfico que ha sido accesible para la especie (“M”). La intersección de estos tres subconjuntos corresponde al área teóricamente ocupada por la especie y se simboliza como  $G_o$ ; por otro lado, el área de intersección entre las condiciones bióticas y abióticas adecuadas, pero no accesible para la especie, corresponde con un área de potencial de invasión y se simboliza como  $G_i$ , que junto con  $G_o$  conforma la geografía potencial  $G_p$  de la especie (Figura 1).

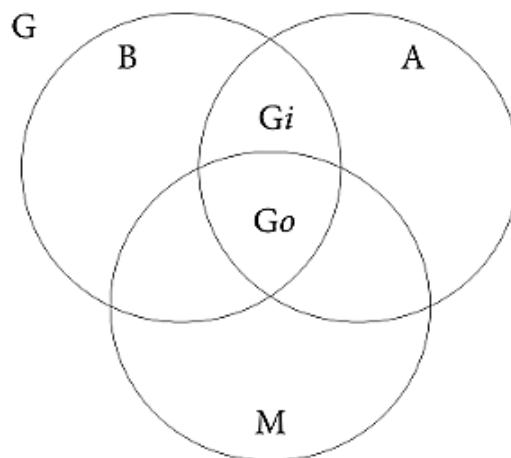


Figura 1. Diagrama BAM modificado (Soberón 2010).

En la práctica, debido a la complejidad de incorporar las interacciones bióticas (“B”), se tiende a simplificar el diagrama BAM a solo dos componentes: (“A”) y (“M”). Esto se debe a que las interacciones ecológicas pueden tener una importancia relativamente menor en las grandes escalas en las que usualmente se aplican los modelos (Pearson & Dawson, 2003).

La diferencia entre los Modelos de Nicho Ecológico (MNE) y Modelos de Distribución de Especies (MDE), radica en que los MNE están relacionados con las condiciones ambientales y bióticas asociadas a las especies; es decir, a los nichos ecológicos. En cambio, los MDE se refieren a partes de la geografía del planeta donde se encuentran las condiciones ambientales para la presencia de una especie; es decir, a las distribuciones geográficas (Peterson & Soberón, 2012).

En este contexto, el enfoque se dirigirá en el modelado de distribución de especies, el cual es un método empírico que permite identificar relaciones estadísticas entre los datos de ocurrencia de una especie en el campo y variables ambientales predictoras que limitan y definen el nicho ecológico de la especie, constituyendo una herramienta válida para establecer planes de conservación, restauración y contaminación ambiental (Pearce & Lindenmayer, 1998; Ferrier, 2002). Asimismo, no solo posibilita conocer una aproximación a la distribución potencial de una especie en condiciones conocidas, sino también, predecir su distribución más probable ante distintos escenarios de cambio climático (Romo et al., 2013). Para esto se determinan aquellas áreas con las condiciones ambientales más adecuadas para el desarrollo de poblaciones de una especie concreta o de una determinada formación vegetal, a partir de una serie de variables ambientales que se corresponden con los datos de ocurrencia de las especies estudiadas (Estrada, 2008). Entre las variables más comúnmente utilizadas se encuentran las climáticas (bioclimáticas) y las topo-edáficas. Las primeras son las más utilizadas, independientemente del tipo de entidad natural, principalmente por su libre acceso, a partir de bases de datos globales a alta resolución (Hijmans & Graham, 2006). Uno de los algoritmos basados en datos de presencia más consistentes es MaxEnt (Phillips et al., 2006). Este calcula la distribución más probable para una especie seleccionada donde la “presencia” es la variable dependiente, y como predictores o variables independientes al modelo se emplean datos bioclimáticos, altitud, pendiente, orientación, litología, entre otros. La pre-selección de las variables debe realizarse antes del modelado (Elith et al., 2011), por lo que es necesario efectuar un análisis para eliminar la autocorrelación entre variables, y así evitar la inestabilidad en el modelado. El algoritmo utilizado por MaxEnt se basa en el principio de máxima entropía, que indica que la mejor predicción disponible de la distribución es aquella que maximiza la entropía de la información de entrada, y la salida es el nicho que la especie ocupa (Phillips et al., 2006). Algunas de sus ventajas son: (1) genera resultados óptimos utilizando sólo puntos de presencia (Elith et al. 2006; Peterson et al. 2007), (2) se desempeña bien incluso con tamaños de muestra pequeños (Wisz et al. 2008), (3) incorpora efectos de interacción de variables ambientales y (4) es un algoritmo determinista, lo que significa que los resultados siempre convergen en una distribución de probabilidad óptima única (Phillips et al. 2006). El resultado se expresa en una función exponencial que describe la probabilidad de distribución definida sobre una región geográfica basada en la información de los datos utilizados (Phillips et al., 2009), obteniendo un mapa continuo en un rango de probabilidades que coincide con el nicho fundamental de la especie, los valores estimados están entre 0 (cero) que muestra bajas probabilidades, y valores cercanos a 1 (uno) que muestran una alta probabilidad de presencia de la especie (Phillips & Dudik, 2008).

En este contexto, los sitios con mayor idoneidad ambiental, definidos por una alta probabilidad de presencia, representarían las condiciones más favorables para la especie según sus óptimos fisiológicos, por lo que el tamaño poblacional es alto. En contraste, las poblaciones menos numerosas se ubicarían en regiones con menor idoneidad ambiental, donde las condiciones no favorecen su expansión ni crecimiento (VanDerWal et al., 2009).

En lo que respecta a la predicción de los potenciales cambios en la distribución de las especies en respuesta a los diferentes escenarios de cambio climático resulta esencial el uso de Modelos de Circulación General del Clima (GCMs), que simulan los procesos físicos y dinámicos del sistema climático, resolviendo una serie de complejas ecuaciones en puntos de un reticulado tridimensional (latitud, longitud, altitud), y las interacciones entre la atmósfera, el océano y la criósfera (Goosse, 2015). Los GCMs proyectan variaciones

climáticas resultado de experimentos conducidos por escenarios hipotéticos de concentraciones de gases de efecto invernadero a futuro.

Sin embargo, cuando las predicciones del modelo se proyectan en escenarios o resoluciones espaciales no analizadas en los datos de entrenamiento, es importante medir la similitud entre los nuevos entornos y los de la muestra de entrenamiento (Elith et al., 2010). En este sentido, Maxent incluye la herramienta Superficie de Similitud Ambiental Multivariada (MESS, por sus siglas en inglés), la cual determina el alcance de las diferencias ambientales entre el modelo de entrenamiento y los datos de proyección (extrapolación) del modelo.

Esta herramienta se basa en la medición de la similitud de cualquier punto con respecto a un conjunto de puntos de referencia, basándose en las variables predictoras seleccionadas, asignando valores negativos a aquellos que difieren significativamente y mapeando estos valores en toda la región de predicción (Elith et al., 2011). Esta información es de utilidad para determinar las áreas de incertidumbre en las proyecciones con diferentes escenarios de cambio climático y, por consiguiente, evaluar posibles procesos de contracción / expansión, desplazamiento y/o fragmentación de su rango de distribución (Guarino et al., 2002; Van Zonneveld et al., 2009).

En este trabajo se analizará la distribución potencial de las especies *N. denudans* y *N. alpataco* con y sin generación de posibles escenarios de cambio climático.

### 3. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Generar modelos de distribución potencial de dos especies del género *Neltuma* para evaluar las posibles modificaciones en su distribución debido al cambio climático.

Objetivos específicos:

- Generar modelos de distribución potencial actual de *N. denudans* y *N. alpataco*.
- Definir los posibles cambios en la distribución de las especies *N. denudans* y *N. alpataco* de acuerdo a dos escenarios de cambio climático.

### 4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca la región patagónica, que se extiende al este de la Cordillera de los Andes desde 37° S hasta 55° S de América del Sur. Presenta una elevación que varía desde 3000 m hasta el nivel del mar, que genera gradientes térmicos que influyen en los límites de distribución de las especies. El trabajo se centrará en el estudio de los ambientes áridos y semiáridos que se encuentran dentro de las latitudes antes mencionadas. Se caracteriza por un paisaje de mesetas que descienden hacia los valles de los ríos principales (Río Colorado, Río Chubut Río Chico, Río Deseado, entre otros), serranías bajas y depresiones cerradas (Burry et al., 2005).

En la Provincia Fitogeográfica Patagónica, el clima es frío, ventoso y seco, con características de semidesierto, debido a la precipitación media anual inferior a 250 mm en casi toda la región, aumentando cerca de la Cordillera, hacia el Sur de la Provincia de Santa Cruz y en

Tierra del Fuego. La temperatura media anual oscila entre 12°C en la parte noreste y 3°C hacia el sur. El elemento climático dominante son los vientos del oeste (Prohaska, 1976).

Los suelos predominantes corresponden al Orden Aridisoles, propios de zonas áridas, con alto porcentaje de arena en superficie, pobres en estructura, baja retención hídrica y con poco contenido de materia orgánica (Oliva et al., 2017). En áreas occidentales, asociadas a mayor humedad y frío, pueden desarrollarse suelos Mólicos, que presentan mejor estructuración, mayor cubierta vegetal y materia orgánica (Paruelo et al., 2005).

Por otro lado, en la Provincia Fitogeográfica del Monte, la temperatura media anual oscila entre los 17,5 °C en el norte y 13 °C en el sur. Las precipitaciones son escasas, entre 100 y 400 mm por año, con una alta variabilidad interanual. En el norte de la región, las lluvias se concentran durante el verano, mientras que en el sur se distribuyen a lo largo de todo el año. La evapotranspiración es muy alta, lo que determina la ausencia de una estación húmeda. Como resultado, el clima es subtropical seco en el norte, mientras que en el sur es seco y fresco (SAyDS, 2007). Los suelos son poco profundos con subsuelo rocoso y de incipiente evolución. Predominan los órdenes Entisoles y Aridisoles, caracterizados por un horizonte superficial claro, de poco espesor y pobres en materia orgánica (SAyDS, 2003).

La distribución de las especies *N. denudans* y *N. alpataco* comprende a las Provincias Fitogeográficas Patagónica, del Monte y el Ecotono Fitogeográfico Monte-Patagonia (Fig. 2). En la Provincia Fitogeográfica Patagónica, son frecuentes las especies con adaptaciones a la sequía y a la herbivoría, como arbustos áfilos o con hojas pequeñas (*Ephedra ochreatea*), espinosos, gramíneas cespitosas (*Pappostipa spp.*) y arbustos semiesféricos laxos (*Azorella prolifera*) o en cojines compactos (*Brachyclados caespitosum*). Mientras que, en la Provincia Fitogeográfica del Monte la vegetación posee características xerofíticas, tales como, plantas con hojas pequeñas, reducidas a espinas o ausentes, tallos fotosintetizantes, cobertura foliar y caulinar cerosa o resinosa, cutículas engrosadas, ciclo anual breve y órganos aéreos y subterráneos suculentos, con escasez de gramíneas y árboles. En lo que respecta a la transición entre las provincias Patagónica y del Monte (Ecotono Monte-Patagonia) se produce de manera gradual, identificándose dos unidades geográficamente disyuntas: la estepa arbustiva ecotonal con predominancia de *N. denudans* y la estepa arbustiva ecotonal con dominancia de *Chuquiraga avellanedae* (Oyarzabal et al., 2018).

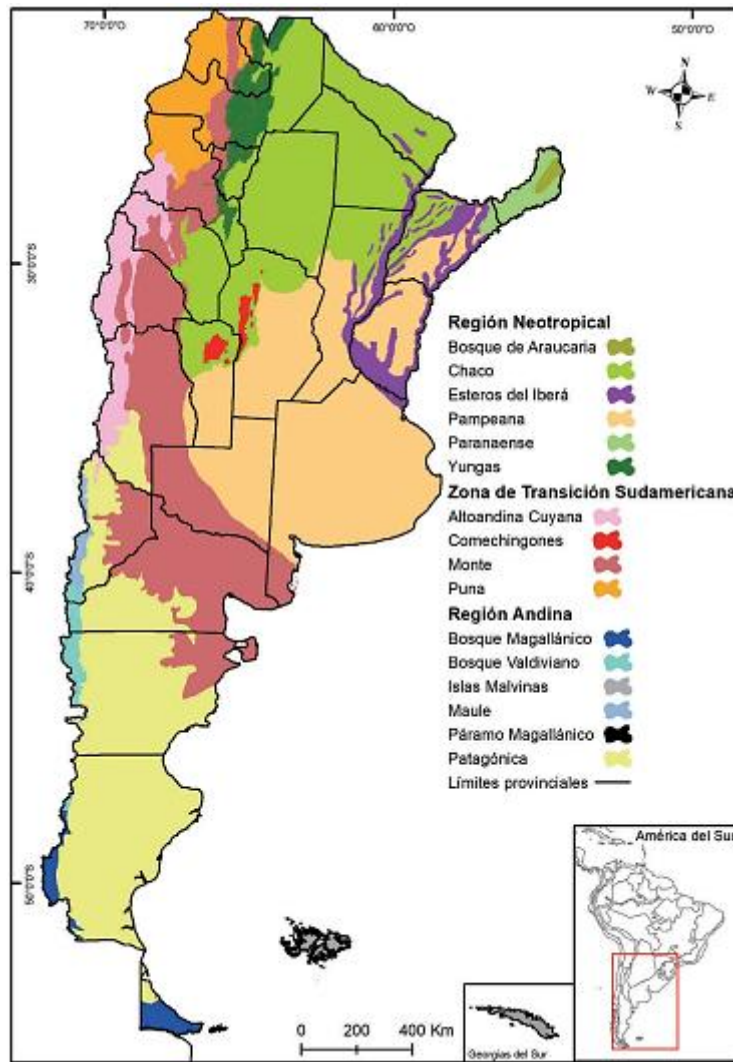


Fig. 2. Regiones biogeográficas (Arana et al., 2021).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Variable respuesta

Los registros de presencia de las especies *N. denudans* y *N. alpataco* en la región Patagónica, se obtuvieron a partir de relevamientos de campo, recopilación bibliográfica y bases de datos disponibles en internet, como el repositorio internacional de la Infraestructura Global de Información sobre Biodiversidad GBIF ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)), ArgentiNat ([www.argentinat.org](http://www.argentinat.org)), Missouri Botanical Garden ([www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)), Sistema de Información de Biodiversidad ([www.sib.gob.ar](http://www.sib.gob.ar)) y NaturalistaCO ([www.colombia.inaturalist.org](http://www.colombia.inaturalist.org)). Se recopilaron 128 registros de ocurrencia de *N. denudans* y 104 de *N. alpataco* (Anexo I).

El buen desempeño del modelo depende en gran medida de la calidad de los registros disponibles de las especies; por ello, es necesario evitar el uso de aquellos datos erróneos o dudosos, ya sea por problemas taxonómicos, por ambigüedad en su geolocalización o por la falta de certeza temporal. Durante el proceso de depuración de datos, se descartan los registros atípicos de la distribución conocida de la especie, los duplicados y aquellos considerados redundantes por su proximidad dentro de un mismo píxel de las coberturas ambientales. En esta etapa, resulta necesario realizar un análisis de la auto-correlación espacial entre los puntos (Boria et al., 2014) para disminuir los efectos asociados a los sesgos de muestreos; asegurando que los puntos de presencia utilizados en el modelo sean independientes entre sí, o al menos, que la dependencia espacial sea mínima.

Con base en esto, los datos de las especies fueron filtrados considerando los siguientes criterios: exclusión de ubicaciones geográficas incorrectas o incompletas y registros duplicados en el mismo sitio (se conservó solo un registro para cada especie por 1 km<sup>2</sup>). Esto permitió reducir la autocorrelación espacial (Mitchell et al. 2017), resultando en 84 registros de ocurrencia de *N. denudans* y 72 de *N. alpataco*.

### 5.2 Variables explicativas

Se utilizaron diecinueve variables bioclimáticas obtenidas de la base de datos disponibles en WorldClim (Busby, 1991), a una resolución de 30 segundos lo cual equivale aproximadamente a 1 km<sup>2</sup> por píxel, resultado de la interpolación de los registros de las estaciones climáticas para el periodo comprendido entre los años 1970 y 2000 (Hijmans et al., 2005). Las dos variables ambientales y la variable topográfica de elevación se obtuvieron de las fuentes citadas en la Tabla 1, la variable pendiente se obtuvo a partir de un procesamiento con el módulo "Slope" en QGIS 3.30.2-'s-Hertogenbosch y, la variable orientación se reclasificó a partir del raster de pendiente generado anteriormente, teniendo en cuenta los siguientes valores:

- ❖ valores 0°-45° y 315°-360°, se le asignó el valor (1): ladera norte
- ❖ valores 45°-135°, se le asignó el valor (2): ladera este
- ❖ valores 135°-225°, se le asignó el valor (3): ladera sur
- ❖ valores 225°-315°, se le asignó el valor (4): ladera oeste

Tabla 1. Variables explicativas (bioclimáticas, topográficas y ambientales).

Acrónimo	Descripción	Unidades	Fuentes
<b>Variables bioclimáticas</b>			
BIO 1	Temperatura media anual	°C	WorldClim
BIO 2	Rango diario medio	°C	WorldClim
BIO 3	Isotermalidad	°C	WorldClim
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura	°C	WorldClim
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C	WorldClim
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío	°C	WorldClim
BIO 7	Rango anual de temperatura		WorldClim
BIO 8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C	WorldClim
BIO 9	Temperatura media del cuarto más seco	°C	WorldClim
BIO 10	Temperatura media del trimestre más cálido	°C	WorldClim
BIO 11	Temperatura media del cuarto más frío	°C	WorldClim
BIO 12	Precipitación anual	mm	WorldClim
BIO 13	Precipitación del mes más húmedo	mm	WorldClim
BIO 14	Precipitación del mes más seco	mm	WorldClim
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación	mm	WorldClim
BIO 16	Precipitación del cuarto más húmedo	mm	WorldClim
BIO 17	Precipitación del cuarto más seco	mm	WorldClim
BIO 18	Precipitación del trimestre más caliente	mm	WorldClim
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío	mm	WorldClim
<b>Variables topográficas</b>			
ELEV	Elevación	m	NASA
PEN	Pendiente	Grados	NASA
	Orientación	N, S, E, O	NASA
<b>Variables ambientales</b>			
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	Adimensional	USGS
IA	Índice de aridez de Argentina	Adimensional	CGIAR CSI

### 5.3 Elaboración de los modelos de distribución potencial actual de las especies

Para la elaboración de los modelos de distribución potencial actual se utilizó el algoritmo MaxEnt 3.4.1 (Phillips et al., 2006). Para ambas especies se efectuó una ejecución del programa empleando dos insumos principales: los registros de presencia (variable respuesta) y un conjunto de diecinueve variables bioclimáticas, tres topográficas y dos ambientales (variables explicativas), según el escenario actual.

La ejecución del software se realizó con la siguiente configuración: registros duplicados eliminados; porcentaje aleatorio = 25; multiplicador de regularización = 1 y un promedio de 10 ejecuciones de validación cruzada.

La base de datos compilada se dividió en dos grupos: el primero, que comprendió el 75% de los registros, se utilizó para calibrar los modelos de distribución potencial; el segundo grupo, con el 25% restante, se utilizó para validar los modelos (Rodríguez-Soto et al. 2017). Por cada especie se realizaron diez repeticiones aleatorias.

En la primera corrida en Maxent, se incluyeron todas las variables explicativas. A partir de estos resultados, se seleccionaron las 5 variables más importantes y no correlacionadas entre sí ( $r=0.8$ ), dado que, la alta correlación entre ellas podría sobreajustar los modelos de distribución (Cruz-Cardenas et al., 2014; Mendoza-González et al., 2013; Peterson & Nakazawa, 2008). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R versión 4.4.1 (R Development Core Team 2024). Para calcular los coeficientes de correlación entre las variables ambientales se utilizó la función “cor” (Wei & Viliam, 2021) que viene cargada por defecto en R base. Luego, se ejecutó una segunda corrida solo con las variables seleccionadas.

Los modelos generados dan como resultado una capa por especie con valores continuos que expresan en cada celda el hábitat potencial de la especie en el área de estudio. Los mapas fueron importados al programa QGIS 3.30.2-'s-Hertogenbosch para la elaboración de la cartografía correspondiente.

En conclusión, cualquier modelo de distribución de especies se compone de cinco elementos clave: registros de presencia de la especie, variables ambientales representadas en mapas digitales, un algoritmo que analiza la relación entre ambas entradas, un modelo definido en el espacio ecológico, y la representación geográfica del resultado en forma de mapa (Fig. 3).

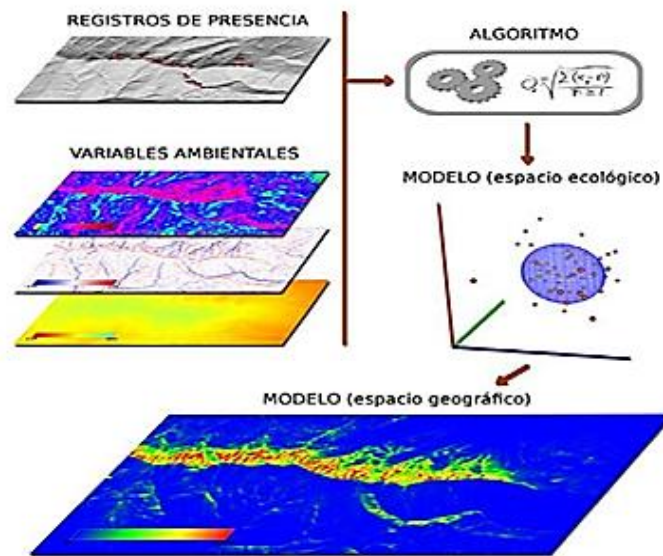


Fig. 3. Elementos necesarios para definir un modelo de distribución de especies (Benito de Pando, 2009).

#### 5.4 Evaluación de los modelos

Los modelos obtenidos con Maxent fueron evaluados estadísticamente mediante la curva característica del funcionamiento del receptor (ROC por su acrónimo en inglés), una curva que describe la tasa de identificación correcta de presencias (*sensitivity*, expresado en el eje  $y$  del gráfico) contra la tasa de falsos positivos ( $1 - \text{specificity}$ , expresado en el eje  $x$ ). La ROC a su vez origina al estadístico llamado área bajo la curva (AUC por su acrónimo en inglés) que proporciona una medida única del rendimiento del modelo, independientemente de cualquier elección particular del umbral de precisión predictiva. Se basa solo en la clasificación de las ubicaciones de las especies identificadas (Phillips et al., 2006). El AUC se interpreta como la probabilidad de que una ubicación de presencia

de una especie elegida al azar se clasifique más alto que un punto de fondo (*background*) elegido al azar, es decir, que se utiliza para determinar cuán confiable el modelo distingue entre presencias y ausencias (Merow et al., 2013). Por lo cual, se considera que la predicción es aleatoria cuando el valor de AUC es de 0.5, mientras que una predicción perfecta se corresponde con un AUC igual a 1 (Baldwin, 2009).

#### 5.5 Modelos de distribución en función de dos escenarios de cambio climático

Para determinar los posibles cambios en la distribución de las especies en función a los escenarios de cambio climático, se aplicó la misma metodología con proyecciones climáticas globales, que se utilizaron en el quinto informe del año 2014 del IPCC. En el mismo, se definieron cuatro escenarios de emisión denominadas trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés), que se caracterizan por su forzamiento radiativo total para el año 2100 que varía desde 2,6 a 8,5 W/m<sup>2</sup>.

Para este estudio se seleccionaron interpolaciones con una resolución de 1 km de dos modelos climáticos globales (GCM), MPI-ESM-LR y MIROC5, para los períodos 2050 (promedio de 2041-2060) y 2070 (promedio de 2061-2080), bajo dos escenarios: el RCP 8.5, un escenario pesimista de alta emisión de gases de invernadero y otro escenario positivista (RCP 4.5), con menores emisiones de gases de efecto invernadero.

El modelo MPI-ESM-LR, desarrollado por el Max Planck Institute for Meteorology (Alemania), tiene una resolución espacial horizontal de 1.875° × 1.875°. En comparación, el modelo MIROC5, desarrollado por un consorcio japonés liderado por la University of Tokyo, presenta una resolución más alta, de aproximadamente 1.4° × 1.4° (Alonso, 2016). La elección de estos dos modelos se basa en su uso frecuente en estudios regionales en Sudamérica, así como por su disponibilidad en bases de datos de acceso libre.

Los tipos de escenarios a utilizar son:

- El RCP 4.5 es un escenario de estabilización que considera la implementación de medidas de mitigación, como el uso de energías alternas, programas de reforestación y cambios en la alimentación global orientados a disminuir la superficie de tierras de cultivos y pastizales destinados a la ganadería. Estas acciones tendrían como efecto un incremento moderado en las emisiones de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera, donde el forzamiento radiativo se consolida en 4,5 W/m<sup>2</sup> para el año 2100 sin exceder nunca ese valor. El cambio de temperatura superficial media estimada para los periodos (2046-2065) y (2081-2100) en el escenario de emisión RCP 4.5 es de 1.4°C y 1.8°C, respectivamente (IPCC, 2013).
- El escenario RCP 8.5 combina los supuestos sobre la alta población y el crecimiento relativamente lento de los ingresos con modestas tasas de cambio tecnológico y mejoras en la intensidad energética, llevando a largo plazo la alta demanda de energía y a las emisiones de gases de efecto invernadero en ausencia de políticas climáticas. Como consecuencia, se corresponde a la trayectoria con las mayores emisiones de gases de efecto invernadero (Riahi et al., 2007). El cambio de temperatura superficial media estimada para los periodos (2046-2065) y (2081-2100) en el escenario de emisión RCP 8.5 es de 2.0°C y 3.7°C, respectivamente (IPCC, 2013).

Para generar los modelos de distribución bajo escenarios de cambio climático, se utilizaron las mismas variables seleccionadas para el escenario actual, a excepción del Índice de aridez, debido a que no está proyectado para los escenarios futuros. Esta variable fue reemplazada por la siguiente con mayor porcentaje de contribución y no correlacionada: la variable bioclimática (BIO 2) para *N. denudans* y la variable topográfica de orientación para *N. alpataco*. Dentro del algoritmo MaxEnt, se seleccionó la ejecución del módulo de análisis de similitud multivariada ambiental (MESS por sus siglas en inglés) el cual genera un mapa que muestra la similitud de cualquier punto en un conjunto de puntos de referencia con respecto a las variables predictoras elegidas. El tratamiento de los archivos ASCII obtenidos al correr el algoritmo fueron visualizados en QGIS 3.30.2-'s-Hertogenbosch, y transformados a formato raster. Una vez generados los mapas, se proyectaron con valores continuos y a partir del umbral seleccionado (10 percentil), se generó una rampa de colores en tono rojo para mostrar el área con mayor idoneidad, dejando en color azul los valores por debajo del umbral. Los modelos de distribución obtenidos también se evaluaron mediante la prueba estadística del AUC del análisis ROC. Estos resultados se transformaron en mapas binarios (Anexo III), obtenidos a partir de una reclasificación en dos categorías: (0-0.60) y (0.61-1), que representan proyecciones de las áreas con baja y alta idoneidad ambiental, respectivamente. Los archivos raster se convirtieron a formato vectorial para calcular los porcentajes de área de presencia y ausencia bajo condiciones climáticas actuales y futuras, discriminando en esta última por modelos climáticos globales, periodos y escenarios analizados. Posteriormente, los datos obtenidos en condiciones futuras se promediaron por escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5), abarcando en cada caso los dos modelos climáticos globales en dos periodos. Esto permitió estimar el porcentaje de rango perdido, ganado o estable respecto a la distribución potencial actual (Almirón et al., 2022).

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Modelos de distribución potencial actual

El registro inicial de presencia entre las dos especies de *Neltuma* fue de 232. Luego del proceso de depuración, según los criterios de exclusión del apartado 4.1, el área bajo la curva ROC (AUC) y los errores de omisión, se obtuvieron 84 registros de ocurrencia de *N. denudans* y 72 de *N. alpataco*. Los modelos de distribución potencial presentaron valores de AUC entre 0.93 y 0.90, respectivamente.

Mediante una primera prueba en Maxent, en la que se incluyeron las diecinueve variables bioclimáticas, tres topográficas y dos ambientales, se seleccionaron las 5 variables que contribuyeron significativamente al modelo para cada una de las especies de *Neltuma* analizadas. Esta selección se realizó mediante un análisis de correlación para evitar el sobreajuste del modelo y generar la segunda ejecución en Maxent. Los resultados se detallan en la Tabla 2 y los análisis completos se muestran en el Anexo II.

Tabla 2. Variables con mayor porcentaje de contribución y no correlacionadas entre sí para las especies de *Neltuma* analizadas.

Nombre científico	Nombre común	Variables	Porcentaje de contribución (2da. corrida)
<i>N. denudans</i>	Algarrobillo patagónico	BIO 9	39.2
		Elevación	22
		BIO 15	21
		BIO 18	15.7
		Índice de aridez	2.2
<i>N. alpataco</i>	Alpataco	Elevación	30.9
		BIO 2	30.5
		BIO 1	23.9
		BIO 15	10
		Índice de aridez	4.7

En la Fig. 4 se muestran los mapas que, a través del uso de colores, indican la probabilidad de que las condiciones de presencia de la especie sean adecuadas; el rojo indica una alta probabilidad de las condiciones adecuadas para la especie, el amarillo indica las condiciones típicas de aquellos lugares donde la especie se encuentra, y colores en azul indican una baja probabilidad de las condiciones adecuadas (Elith et al., 2010). La probabilidad de presencia tiene una escala de cero a uno, los valores próximos a uno son los que presentan la probabilidad más alta de presencia de la especie.

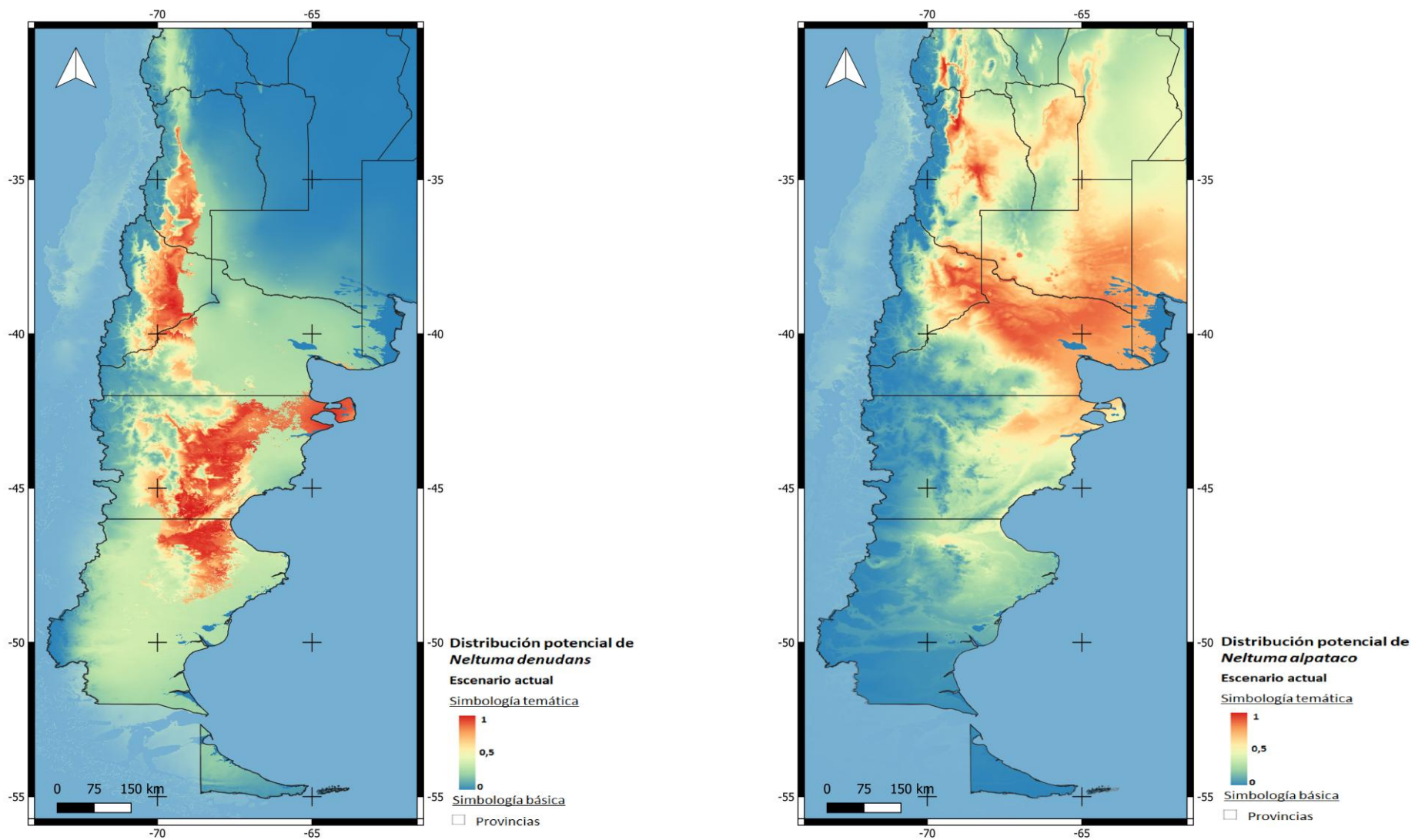


Fig. 4. Mapas de distribución potencial de las especies *N. denudans* y *N. alpataco* en el escenario actual (1970 - 2000).

La precisión de los modelos de distribución de las especies de *Neltuma* analizadas, tanto en condiciones climáticas actuales como futuras, se estimó mediante el valor de AUC (> 0.80), lo cual indica un buen desempeño en la predicción de la distribución de estas especies. Comúnmente un modelo con suficiente precisión acepta un valor superior a 0.7

Los modelos de distribución potencial bajo escenario actual resultaron consistentes con los registros de ocurrencia de cada especie, abarcando los rangos geográficos de distribución conocidos en estudios previos. Las variables que contribuyeron significativamente en los modelados están relacionadas con variables bioclimáticas vinculadas a la precipitación y la temperatura, así como también, la elevación y el Índice de aridez. En particular, para *N. denudans*, las variables asociadas son: BIO 9 (temperatura media del cuarto más seco), Elevación, BIO 15 (Estacionalidad de la precipitación), BIO 18 (Precipitación del trimestre más caliente) e Índice de aridez; mientras que, para *N. alpataco*, las variables son: Elevación, BIO 2 (Rango diurno medio) BIO 1 (Temperatura media anual), BIO 15 (Estacionalidad de la precipitación) e Índice de aridez.

## 6.2 Modelos de distribución potencial bajo escenarios de cambio climático

Los modelos de distribución potencial bajo escenarios de cambio climático presentaron valores de AUC > 0.80. En la tabla 3 se detallan los valores del área bajo la curva de los modelos de distribución potencial de las especies *N. denudans* y *N. alpataco* bajo dos modelos climáticos globales en dos periodos y dos escenarios futuros.

Tabla 3. Valores de área bajo la curva (AUC) para las especies de *Neltuma* analizadas bajo dos modelos climáticos globales en dos periodos y dos escenarios futuros.

Especie	Valores de área bajo la curva (AUC)							
	MIROC5				MPI-ESM-LR			
	Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)		Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
<i>N. denudans</i>	0.938	0.937	0.936	0.936	0.936	0.938	0.941	0.935
<i>N. alpataco</i>	0.868	0.864	0.864	0.864	0.868	0.866	0.864	0.863

En las tablas 4 y 5 se presentan los porcentajes de contribución de las variables seleccionadas para las especies de *Neltuma* analizadas, bajo dos modelos climáticos globales en dos periodos y dos escenarios futuros.

Tabla 4. Variables con mayor porcentaje de contribución y no correlacionadas entre sí para la especie *N. denudans* bajo dos modelos climáticos globales en dos periodos y dos escenarios futuros.

<i>N. denudans</i>								
Variable (%)	MIROC5				MPI-ESM-LR			
	Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)		Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
BIO 9	35.1	37.7	44.9	41.7	37.1	39.1	41.7	35.9
BIO 18	23	20.5	13.3	19.2	21.3	12.7	19.1	17.8
Elevación	20.7	19.9	22.1	18	19.7	18.7	21	25.3
BIO 15	17.1	17.5	18.9	18.5	17.1	25.5	16.6	15.9
BIO 2	4	4.4	0.8	2.5	4.8	4	1.7	5.1

Tabla 5. Variables con mayor porcentaje de contribución y no correlacionadas entre sí para la especie *N. alpataco* bajo dos modelos climáticos globales en dos periodos y dos escenarios futuros.

<i>N. alpataco</i>								
Variable (%)	MIROC5				MPI-ESM-LR			
	Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)		Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
BIO 2	43.1	43.4	46	43.1	42.7	44.5	45.6	42.5
BIO 1	37.3	35.1	33.4	37.2	35.1	35.3	37.5	37.3
BIO 15	17	18.4	17	17.1	18.7	16.5	14.1	17.6
Orientación	1.9	1.8	2.6	1.3	2.2	2.8	1.7	1.4
Elevación	0.7	1.3	1	1.3	1.3	0.9	1	1.2

En las Fig. 5 a 12, se muestran los mapas bajo escenarios de cambio climático que, a través del uso de colores, indican la probabilidad de que las condiciones de presencia de la especie sean adecuadas; el rojo indica una alta probabilidad de las condiciones adecuadas para la especie, el amarillo indica las condiciones típicas de aquellos lugares donde la especie se encuentra, y colores en azul indican una baja probabilidad de las condiciones adecuadas (Elith et al., 2010). La probabilidad de presencia tiene una escala de cero a uno, los valores próximos a uno son los que presentan la probabilidad más alta de presencia de la especie.

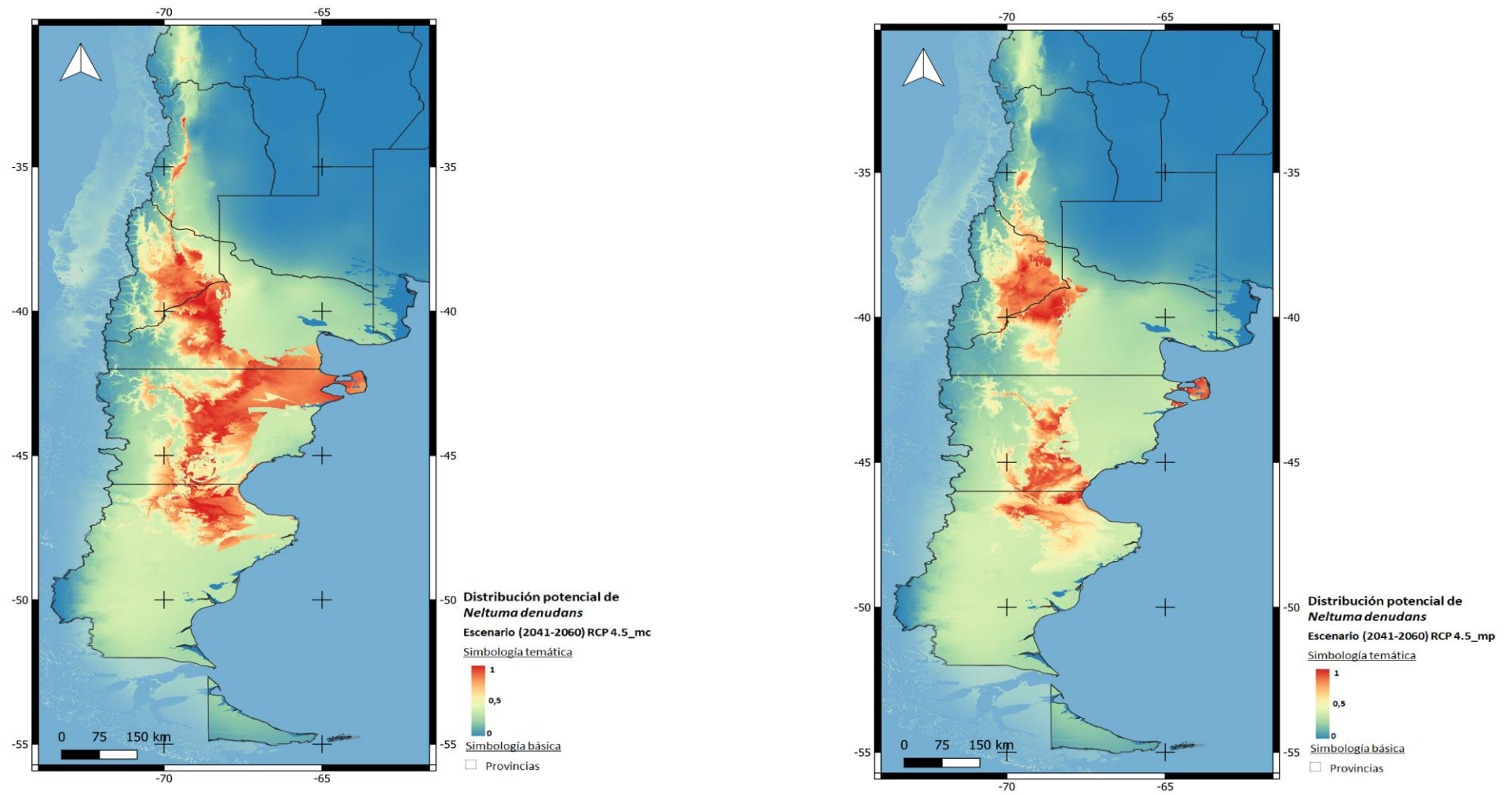


Fig. 5. Mapas de distribución potencial de la especie *N. denudans* en el escenario optimista RCP 4.5, periodo (2041 – 2060) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

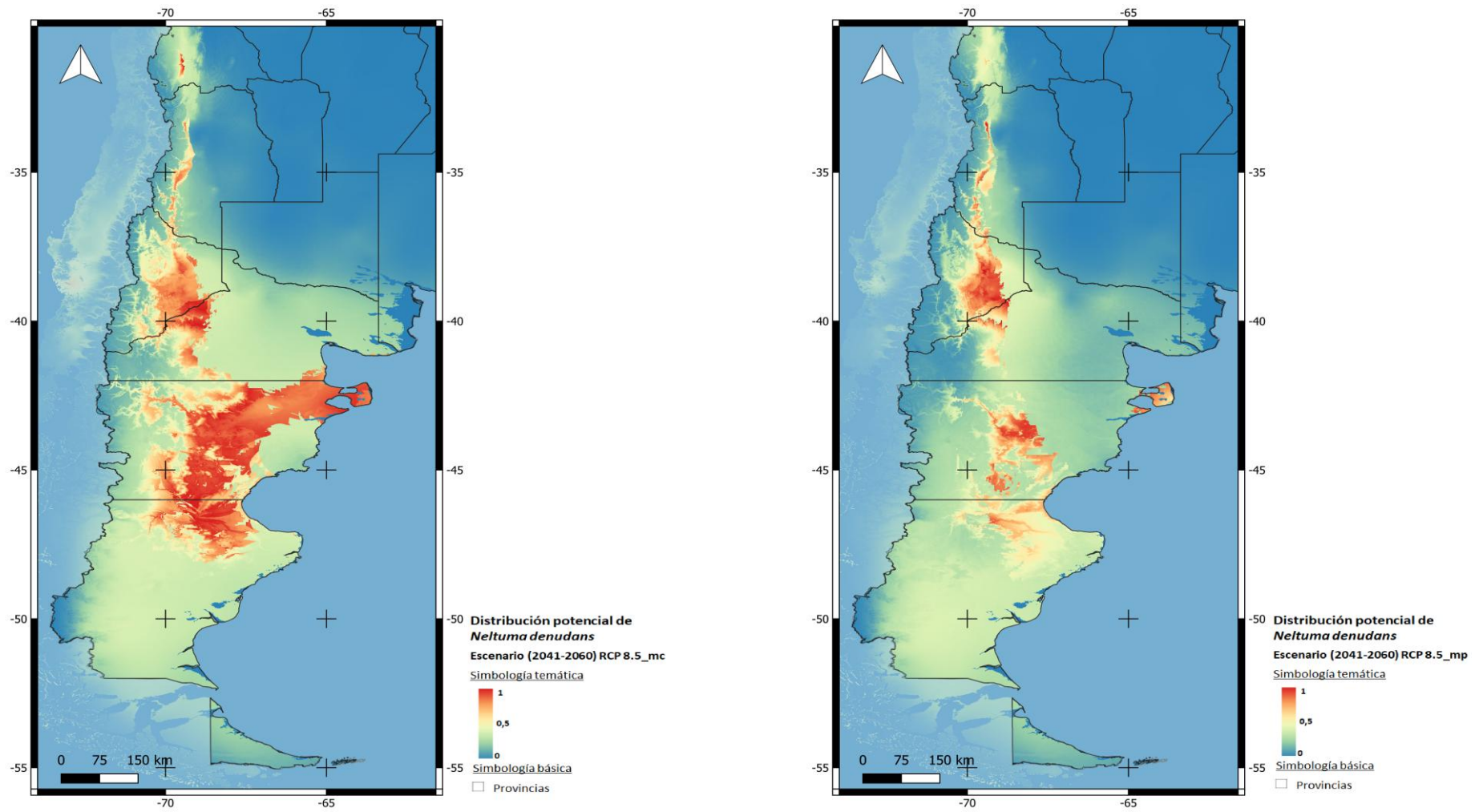


Fig. 6. Mapas de distribución potencial de la especie *N. denudans* en el escenario pesimista RCP 8,5, periodo (2041 – 2060) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

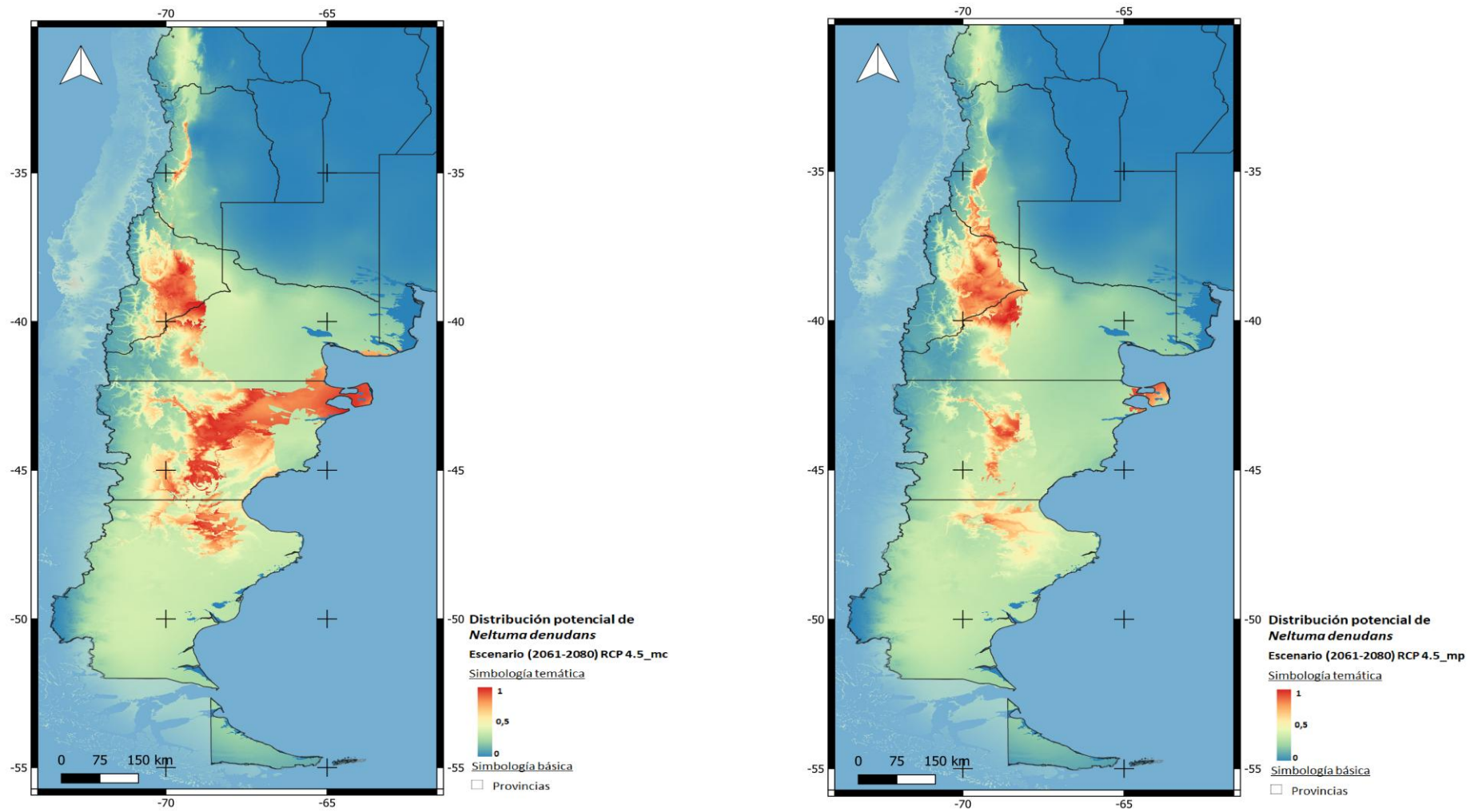


Fig. 7. Mapas de distribución potencial de la especie *N. denudans* en el escenario optimista RCP 4,5, periodo (2061 – 2080) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

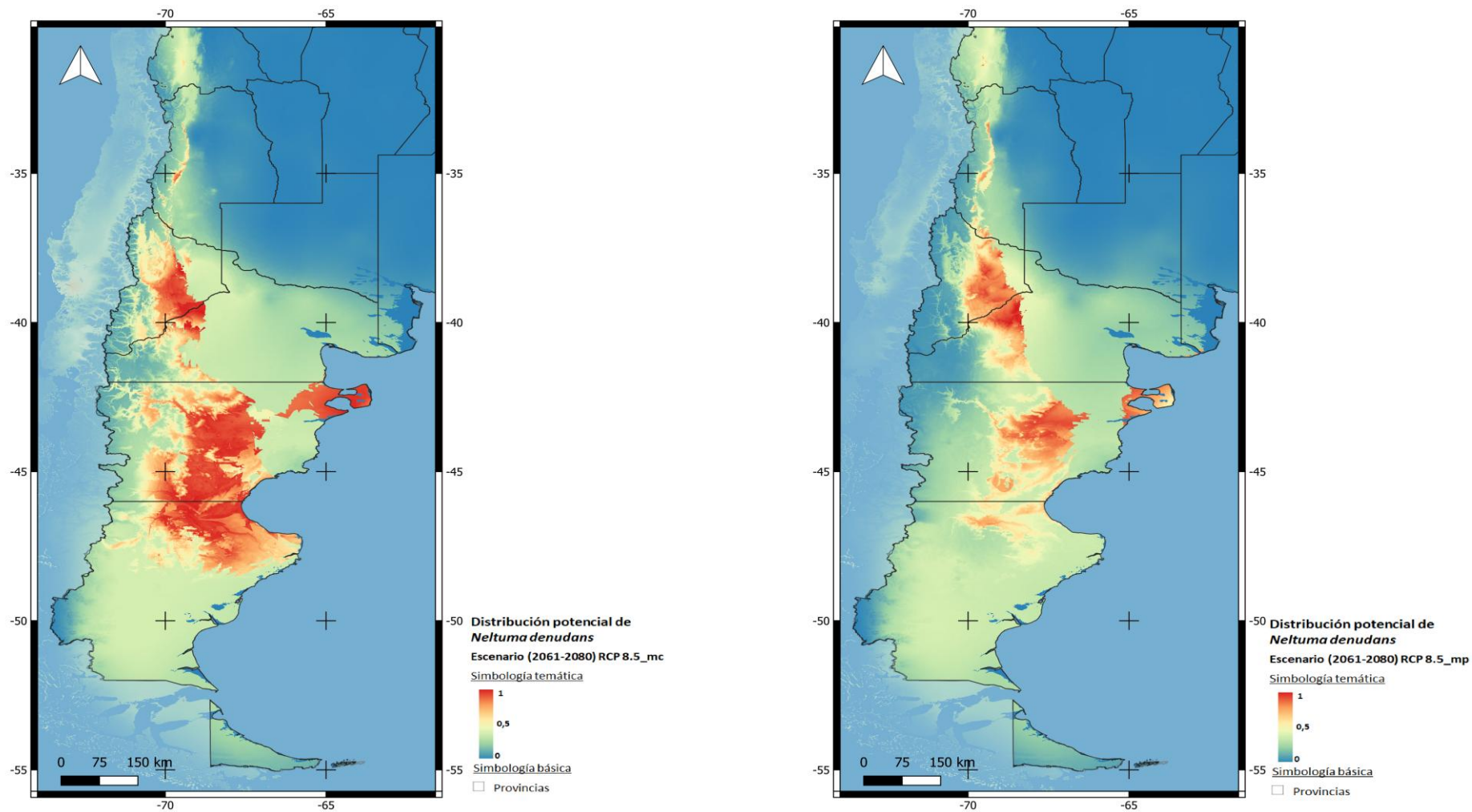


Fig. 8. Mapas de distribución potencial de la especie *N. denudans* en el escenario pesimista RCP 8.5, periodo (2061 – 2080) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

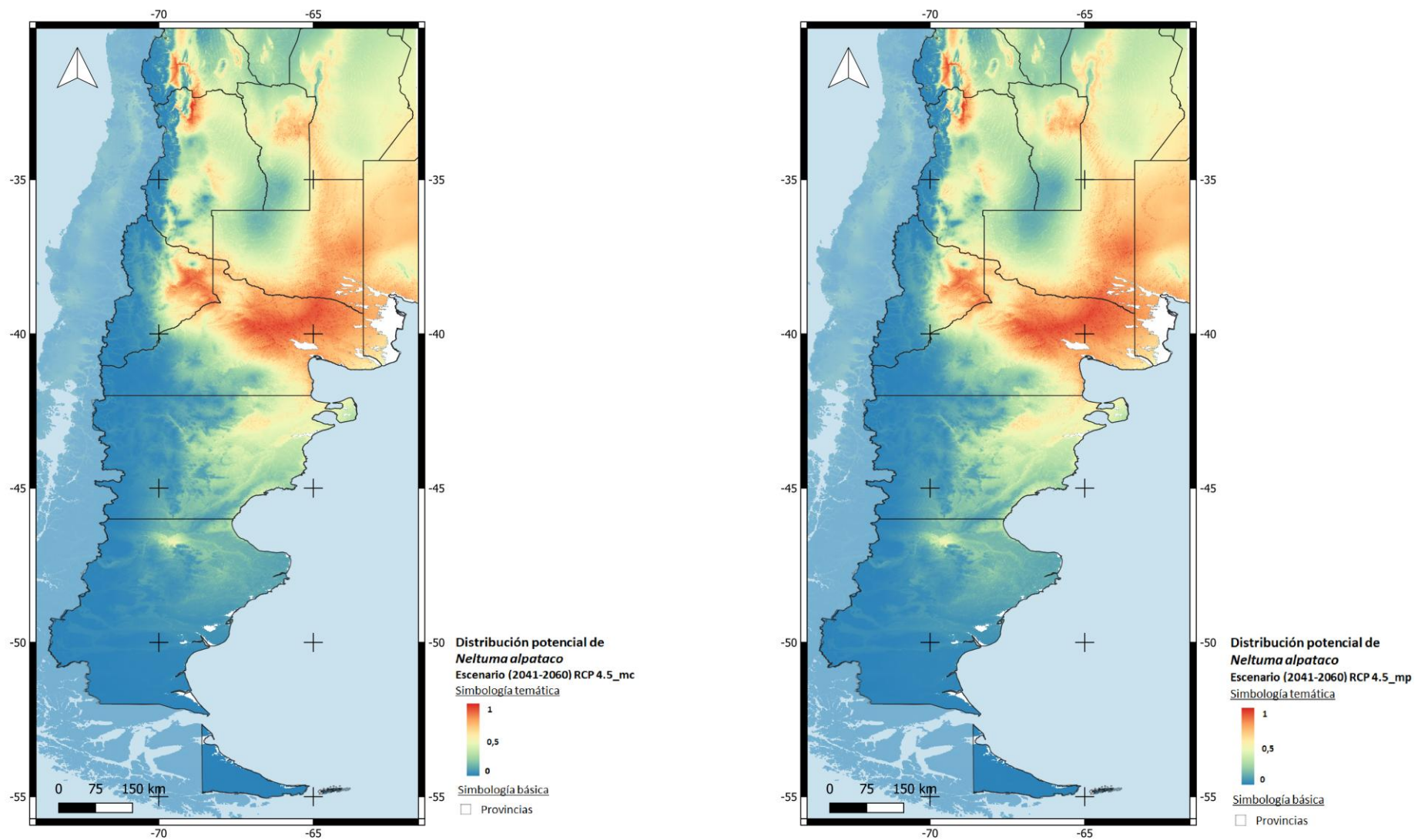


Fig. 9. Mapas de distribución potencial de la especie *N. alpataco* en el escenario optimista RCP 4.5, periodo (2041 – 2060) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

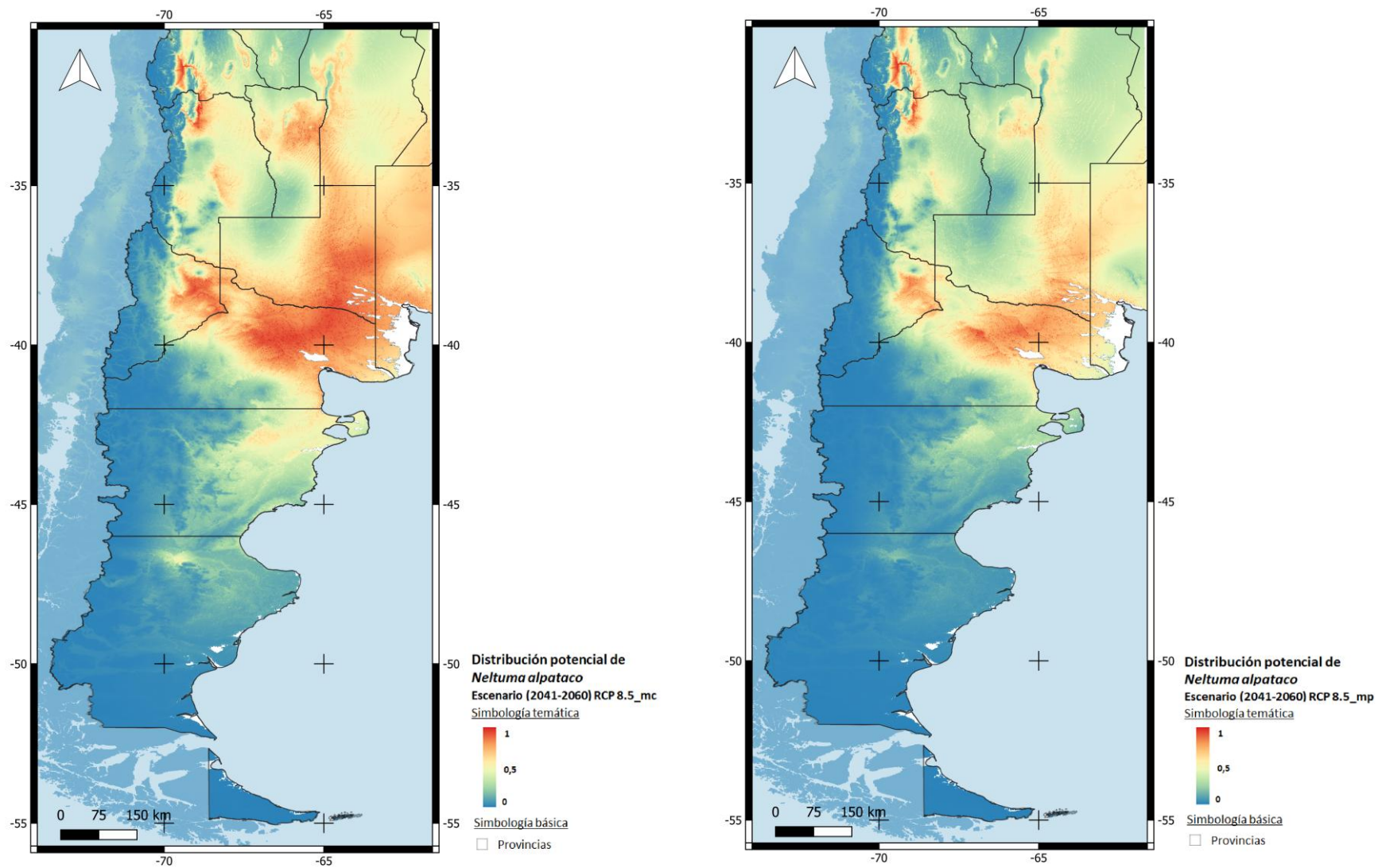


Fig. 10. Mapas de distribución potencial de la especie *N. alpataco* en el escenario pesimista RCP 8.5, periodo (2041 – 2060) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

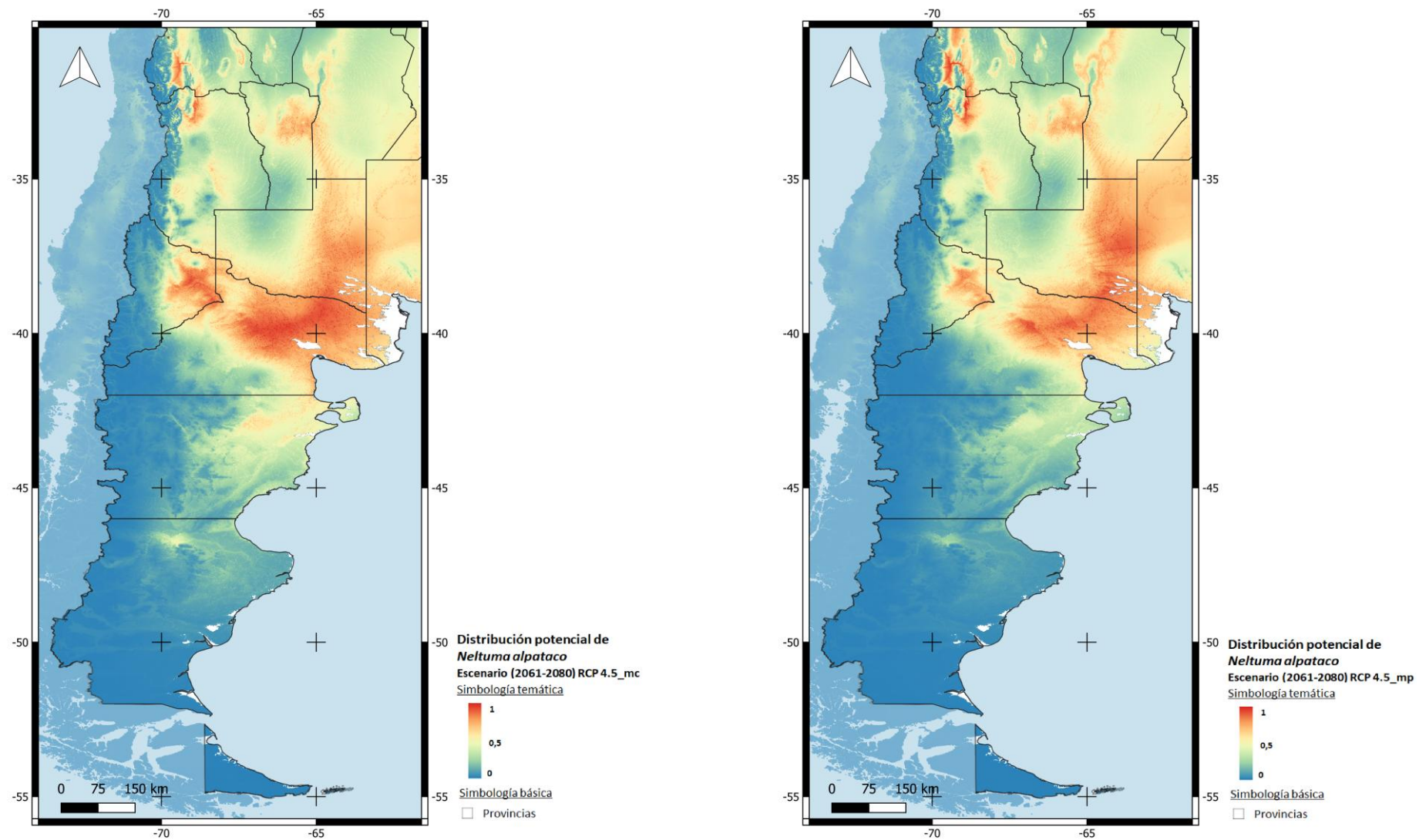


Fig. 11. Mapas de distribución potencial de la especie *N. alpataco* en el escenario optimista RCP 4,5, periodo (2061 – 2080) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

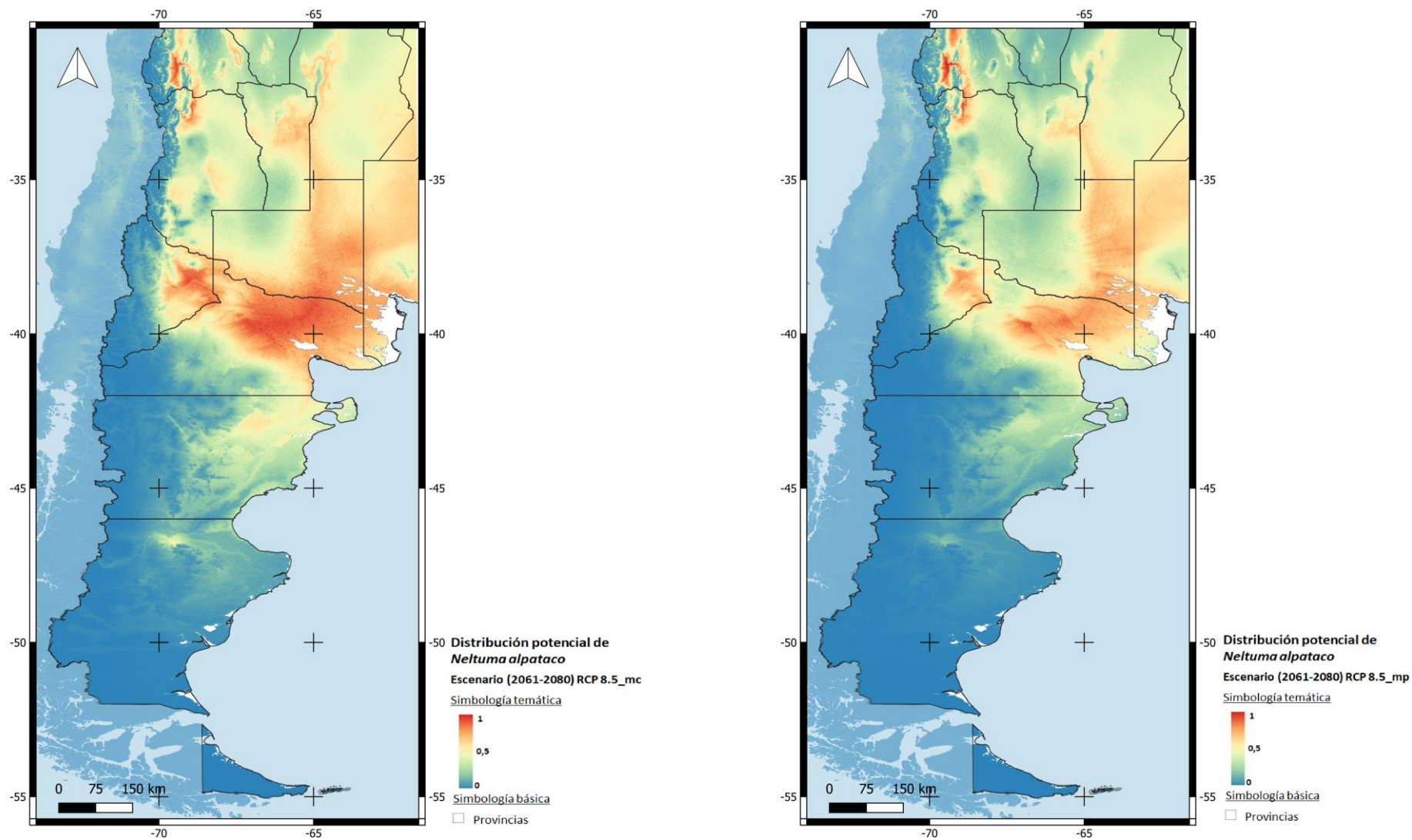


Fig. 12. Mapas de distribución potencial de la especie *N. alpataco* en el escenario pesimista RCP 8.5, periodo (2061 - 2080) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

### 6.3 Áreas de idoneidad en condiciones climáticas actuales y futuras

En la tabla 6 se presenta que el área total prevista de alta idoneidad ambiental en condiciones climáticas actuales para la especie *N. denudans* es del 4.03%. El 95.97% restante corresponde a áreas clasificadas como no idóneas. En el marco de un escenario positivista (RCP 4.5), que incluye dos modelos climáticos globales en dos periodos, el promedio del área de alta idoneidad ambiental se reduce a 2.75%. El 97.25% restante corresponde a áreas de baja idoneidad. Bajo los mismos parámetros, pero en un escenario pesimista (RCP 8.5), el promedio del área de alta idoneidad se reduce a 2.73%, mientras que el 97.27% restante corresponde a áreas no idóneas.

Tabla 6. Áreas de alta y baja idoneidad ambiental (en %) para la especie *N. denudans* bajo escenario actual y dos modelos climáticos globales en dos periodos y dos escenarios futuros.

<i>N. denudans</i>									
Área (%)	Escenario actual Periodo (1970-2000)	Escenarios de cambio climático							
		MIROC5				MPI-ESM-LR			
		Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)		Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Idoneidad alta	4.03	4.42	4.27	2.90	4.11	2.24	0.77	1.45	1.77
Idoneidad baja	95.97	95.58	95.73	97.09	95.89	97.76	99.23	98.55	98.23

En la tabla 7 se presenta que el área total prevista de alta idoneidad ambiental en condiciones climáticas actuales para la especie *N. alpataco* es del 6.12%. El 93.88% restante corresponde a áreas clasificadas como no idóneas. En el marco de un escenario positivista (RCP 4.5), que incluye dos modelos climáticos globales en dos periodos, el promedio del área de alta idoneidad ambiental se reduce a 5.22%. El 94.78% restante corresponde a áreas de baja idoneidad. Bajo los mismos parámetros, pero en un escenario pesimista (RCP 8.5), el promedio del área de alta idoneidad se reduce a 3.61%, mientras que el 96.39% restante corresponde a áreas no idóneas.

Tabla 7. Áreas de alta y baja idoneidad ambiental (en %) para la especie *N. alpataco* bajo escenario actual y dos modelos climáticos globales en dos periodos y dos escenarios futuros.

<i>N. alpataco</i>									
Área (%)	Escenario actual Periodo (1970-2000)	Escenarios de cambio climático							
		MIROC5				MPI-ESM-LR			
		Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)		Periodo (2041-2060)		Periodo (2061-2080)	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Idoneidad alta	6.12	5.42	6.93	5.21	5.05	5.62	1.12	4.65	1.33
Idoneidad baja	93.88	94.58	93.07	94.79	94.95	94.38	98.87	95.35	98.67

## 7. DISCUSIÓN

Las especies del género *Neltuma* son endémicas de zonas áridas y semiáridas, con precipitaciones estivales y de carácter torrencial que varían entre 80- 200 mm anuales y temperaturas medias de 15°C - 17°C (Villagra & Cavagnaro, 1998). Villagra et al. (2009) encontraron una relación entre la temperatura de germinación de especies del género y su distribución geográfica, siendo óptima entre 25°C - 40°C, lo que sugiere una adaptación a condiciones ambientales de temperaturas relativamente altas (Passera, 2000). El límite inferior de este rango se asocia con *N. denudans*, mientras que el superior con *N. alpataco*. La temperatura óptima de una especie es aquella en la que las semillas alcanzan el porcentaje de germinación más alto, en el menor tiempo (Mayer & Poljakoff- Mayber, 1982). En relación al proceso de floración-fructificación de las especies analizadas, Cariaga et al., (2005) señalan que el aborto de frutos constituye una respuesta fisiológica a un estrés ambiental severo, como la sequía.

Las especies resistentes al estrés hídrico tienen un conjunto de rasgos morfo-fisiológicos que les permiten sobrevivir en condiciones adversas, no obstante, se reduce el potencial de crecimiento en presencia de éste (Chapin III et al., 1993; Grime, 1977; Orians & Solbrig, 1977). En el trabajo de investigación de Cedrés Gazo (2016) se sometieron a estrés hídrico y salino semillas de la especie *N. alpataco*, afectando tanto la germinación como al crecimiento y el peso de las plántulas. Estos resultados fueron observados también en otras especies del género *Neltuma* (Sosa et al., 2005; Villagra & Cavagnaro, 2006; Gonzalez, 2018). En este contexto, Venier et al., (2013) sugieren que el impacto del cambio climático sobre la distribución espacial de estas especies, estaría más relacionado con variaciones en el régimen de precipitaciones que con un incremento en la temperatura. Aunque las precipitaciones son un factor clave para la germinación en ambientes áridos y semiáridos —al controlar la disponibilidad de agua—, en los modelos de distribución de especies obtenidos, las variables de temperatura mostraron una mayor contribución. Esto podría deberse a que la temperatura también afecta directamente etapas sensibles del ciclo de vida, como la germinación y el establecimiento, y su influencia puede amplificarse en función de la escala espacial o temporal del análisis. Asimismo, las discrepancias con otros estudios podrían explicarse por diferencias en la resolución de los datos empleados o en la escala temporal considerada.

En base a lo anteriormente mencionado, se podría justificar la significativa contribución de las variables bioclimáticas en los modelos de distribución potencial obtenidos para *N. denudans* y *N. alpataco*. Si bien las variables de temperatura mostraron una mayor influencia en los modelos, es importante considerar que en ambientes áridos y semiáridos la disminución de las precipitaciones representa un factor limitante clave, al afectar de forma directa procesos como la germinación y el desarrollo de las plántulas. Por lo tanto, es posible que ambas variables —temperatura y precipitación— interactúen en su influencia sobre la distribución de estas especies, y que la importancia relativa de cada una dependa del contexto ecológico, la resolución de los datos y la escala de análisis empleada.

Con el avance del cambio climático previsto (IPCC, 2018), se proyecta un cambio en la distribución de las especies (Takolander et al., 2019). La comparación de la distribución actual y la estimación de la distribución futura de una especie, permite establecer áreas de alto y bajo impacto del cambio climático, así como determinar potenciales nuevas áreas adecuadas para la persistencia de la especie (Van Zonneveld et al., 2009). Las áreas de alto

impacto son aquellas en las que la especie probablemente ocurra en las condiciones climáticas actuales, pero dejarán de ser adecuadas en el futuro; las áreas de bajo impacto son aquellas en las que la especie probablemente ocurra tanto en las condiciones climáticas actuales como futuras y las nuevas áreas adecuadas son aquellas en las que la especie tendría probabilidad de ocurrir en el futuro, pero las condiciones actuales no son idóneas para su ocurrencia.

Una de las predicciones del calentamiento global es el desplazamiento de especies hacia mayores latitudes asociado, en principio, a un aumento de la temperatura (Watson Chair, 2000; IPCC, 2002). En esta línea, los modelos climáticos futuros de las especies de *Neltuma* analizadas presentaron una reducción generalizada de las áreas de idoneidad climática en comparación con su distribución potencial actual, sin evidenciar desplazamiento. Este resultado podría explicarse considerando que, si bien las temperaturas proyectadas podrían mantenerse dentro del rango de tolerancia térmica del género *Neltuma*, la disminución de las precipitaciones limitaría el establecimiento de nuevas poblaciones, incluso en áreas térmicamente favorables. Por lo tanto, en el caso de *N. denudans* y *N. alpataco*, la ausencia de desplazamiento podría reflejar la estrecha dependencia de estas especies respecto a una combinación de condiciones hídricas y térmicas, lo que restringiría su capacidad de expansión geográfica ante escenarios climáticos futuros.

Hay que tener presente que los modelos climáticos globales pueden diferir, incluso, en elecciones estructurales básicas y que, por ello, pueden arrojar diferentes resultados para un mismo espacio físico (Murphy et al., 2007). Por otro lado, Olesen et al., (2007) señalaron además que, si bien existe esa incertidumbre generada al establecer los escenarios de emisiones y aplicar los modelos climáticos, hay también una incertidumbre asociada con las variaciones locales del clima y del suelo, así como con las diferentes estrategias a implementar en la práctica para amortiguar los efectos del cambio climático. Dependiendo de la aplicación a ejercer, puede ser una buena idea hacer un promedio de múltiples modelos en caso de que se considere que los mismos tienen incertidumbres complementarias (Gleckler et al., 2008) incrementando la probabilidad de que el resultado del modelado se ajuste mejor a la realidad.

## 8. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el área de idoneidad ambiental de *N. denudans*, se reduce entre un 1.28% en escenario de cambio climático positivista (RCP 4.5) y un 1.30% en el escenario pesimista (RCP 8.5), en comparación con las condiciones climáticas actuales. El área de idoneidad ambiental de *N. alpataco*, se reduce entre un 0.9% en escenario de cambio climático positivista (RCP 4.5) y un 2.51% en el escenario pesimista (RCP 8.5), en comparación con las condiciones climáticas actuales. Es decir, no se identificaron nuevas áreas de idoneidad climática bajo escenarios futuros, lo que indica que el aumento de la temperatura no conlleva un desplazamiento hacia el sur en la distribución de estas especies. Este patrón reafirma que la distribución espacial de *N. denudans* y *N. alpataco* se encuentra condicionada por una combinación de las variables bioclimáticas temperatura y precipitación.

Los modelos de distribución potencial, tanto en escenario actual como futuros, se generaron a partir de registros de presencia disponibles en bases de datos de acceso libre. Sin embargo, el número de ocurrencias resulta limitado para un conocimiento certero de la distribución de las especies analizadas. Esto puede estar asociado a un muestreo insuficiente o inexistente, así como a la falta de carga de los registros por parte de los usuarios. Además, la dificultad en la búsqueda de las variables explicativas resultó otro limitante para el modelado.

A pesar de las limitaciones, los modelos generados permiten establecer un diagnóstico inicial sobre el impacto del cambio climático en la distribución potencial de ambas especies. Los resultados obtenidos resaltan la necesidad de profundizar el conocimiento sobre distribución geográfica actual de las especies del género *Neltuma* en el territorio, así como de ampliar y mejorar la calidad de los datos utilizados en futuros modelos. Este trabajo constituye un aporte significativo al estudio de especies nativas en ambientes áridos y semiáridos, y sienta las bases para el desarrollo de investigaciones orientadas a su conservación y manejo frente a escenarios climáticos futuros.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, M. R., & Sala, O. E. (1994). Competition, facilitation, seed distribution and the origin of patches in a Patagonian steppe. *Oikos*, 26-34.
- Aguiar, M. R., & Sala, O. E. (1999). Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(7), 273-277.
- Aguilar, D. L., Cosacov, A., Sérsic, A. N., & Acosta, M. C. (2023). Aproximaciones a la historia evolutiva de los géneros *Neltuma* y *Strombocarpa* (Fabaceae) en Sudamérica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 58(Supl.), 12.
- Almirón, N. E. A., Via Do Pico, G. M., Cosacov Martinez, A., Paredes, E. N., Robledo Dobladez, G. A., & et al. (2022). The geography of *Aspidosperma quebracho-blanco* vulnerability, an emblematic species of the South American Gran Chaco. *Forest Ecology and Management*, 523, 1-16.
- Alonso, A. E. (2016). *Evaluación de modelos climáticos: el comportamiento de la variable nubosidad* (Doctoral dissertation, Universitat de Girona).
- Alvarez, J. A., Villagra, P. E., Rossi, B. E., & Cesca, E. M. (2009). Spatial and temporal litterfall heterogeneity generated by woody species in the Central Monte desert. *Plant Ecology*, 205, 295-303.
- Arana, M. D., Natale, E. S., Ferretti, N. E., Romano, G. M., Oggero, A. J., Martínez, G., ... & Morrone, J. J. (2021). Esquema biogeográfico de la República Argentina.
- Baldwin, R. A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11(4), 854-866.
- Becerra, P., Smith-Ramírez, C., & Arellano, E. (2018). Evaluación de técnicas pasivas y activas para la recuperación del bosque esclerófilo de Chile central. *Santiago, Chile*.
- Benito de Pando, B. L. A. S. (2009). *Ecoinformática aplicada a la conservación: Simulación de efectos del cambio global en la distribución de la flora de Andalucía* (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).
- Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M., & Anderson, R. P. (2014). Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological modelling*, 275, 73-77.
- Bravo Cadena, J., Sánchez Rojas, G., & Gelviz-Gelvez, S. M. (2011). Estudio de la distribución de las especies frente al cambio climático.
- Burkart, A. E. (1952). *Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas: descripción sistemática de la familia, los géneros y las principales especies, de su distribución y utilidad en el país y en las regiones limítrofes*. Ed. ACME, S.A.I.C., Buenos Aires.
- Burkart, A. (1976). A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold arboretum*, 450-525.
- Burry, L. S., D'Antoni, H. L., & Frangi, J. L. (2005). Polen y vegetación en la Patagonia extraandina argentina a 45° S. In *Anales del Jardín Botánico de Madrid* (Vol. 62, No. 2, pp. 143-152).
- Busby, J. R. (1991). Bioclim-a bioclimate analysis and prediction system. *Nature*

- Conservation: Cost effective Biological surveys and data analysis. Pp. 64-68.
- Bustamante Alsina, J. (1995). Derecho Ambiental, fundamentación y normativa. Editorial Abeledo Perrot SA, 1ra edición, Argentina.
- Cabrera, Á. L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería*, 2, 1-85.
- Cariaga, R. E., Agüero, P. R., Ravetta, D. A., & Vilela, A. E. (2005). Differences in production and mortality of reproductive structures in two *Prosopis* L.(Mimosaceae) shrub species from Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 63(4), 696-705.
- Cedrés Gazo, M. (2016). *Estrategias de propagación de Prosopis alpataco Phil. de la Patagonia norte* (Doctoral dissertation).
- Chapin III, F. S., Autumn, K., & Pugnaire, F. (1993). Evolution of suites of traits in response to environmental stress. *The American Naturalist*, 142, S78-S92.
- Colwell, R. K., & Rangel, T. F. (2009). Hutchinson's duality: the once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(supplement\_2), 19651-19658.
- Cruz-Cardenas, G., Villaseñor, J. L., Lopez-Mata, L., Martinez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selection of environmental predictors for species distribution modeling in Maxent. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(2), 187-201.
- De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B. R., Zellweger, F., Aalto, J., ... & Hylander, K. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global change biology*, 27(11), 2279-2297.
- Del Pozo, A. H., Fuentes, E. R., Hajek, E. R., & Molina, J. D. (1989). Zonación microclimática por efecto de los manchones de arbustos en el matorral de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 62, 85-94.
- Elith, J., C. Graham, R. Anderson, M. Dudik, & S. Ferrier (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
- Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in ecology and evolution*, 1(4), 330-342.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43-57.
- Encino-Ruiz, L., Lindig-Cisneros, R., Gómez-Romero, M., & Blanco-García, A. (2013). Desempeño de tres especies arbóreas del bosque tropical caducifolio en un ensayo de restauración ecológica. *Botanical Sciences*, 91(1), 107-114.
- Escalante, T (2009). Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80, 551-560.
- Estrada, A. (2008). Evaluación de las redes de espacios naturales protegidos en Andalucía mediante el uso de modelos espaciales de distribución de vertebrados. *Ecosistemas*, 17(3).
- Ferrier, S. (2002). Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here?. *Systematic biology*, 51(2), 331-363.

- Galindo, L. M., Flores Rodríguez, L., Santos Calpe, R., Camacho Cruz, A., Lorente Alvarez, I., Navarro Luna, J., & Gómez, J. I. (2004). Los efectos biológicos del cambio climático. *Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 13 (1).
- Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje M. & Morrone J. J. (2012). Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 258-272.
- Gleckler, P. J., Taylor, K. E., & Doutriaux, C. (2008). Performance metrics for climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D6).
- González, A. F. C. (2014). Plantas del monte Patagónico. (1ª ed.). Editorial de la Universidad Nacional del Sur.
- González, D. P. (2018). Tolerancia al estrés salino del vinal (*Prosopis ruscifolia*): germinación, crecimiento y ajuste osmótico (Doctoral dissertation, MSC. Diego A. Meloni).
- Goosse, H. (2015). *Climate system dynamics and modeling*. Cambridge University Press.
- Grime, J. P. (1977). Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The american naturalist*, 111(982), 1169-1194.
- Guarino, L., Jarvis, A. R. J. H., Hijmans, R. J., & Maxted, N. (2002). Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. In *Managing plant genetic diversity. Proceedings of an international conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 12-16 June 2000* (pp. 387-404). Wallingford UK: CABI publishing.
- Gutiérrez, J. R., & Squeo, F. A. (2004). Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas*, 13(1).
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978.
- Hijmans, RJ & Graham, CH (2006). La capacidad de los modelos de envoltura climática para predecir el efecto del cambio climático en la distribución de especies. *Biología del cambio global*, 12 (12), 2272-2281.
- Hughes, C. E., Ringelberg J. J., Lewis G. P. & Catalano, S. A. (2022). Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *PhytoKeys* 205:147-189. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.205.75379>.
- Holmgren, M., Scheffer, M., & Huston, M. A. (1997). The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology*, 78(7), 1966-1975.
- Holmgren, M., & Scheffer, M. (2001). El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems*, 4(2), 151-159.
- Hutchinson GE (1957) Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 22:415-427. <https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>
- Hutchinson GE (1978) *An introduction to population ecology*. Yale University Press, New Haven
- Ingram T, Costa-Pereira R, Araújo MS (2018) The dimensionality of individual

- niche variation. *Ecology* 99(3):536–549. doi:<https://doi.org/10.1002/ecy.2129>.
- IPCC (2002). Cambio Climático y Biodiversidad. Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo II del IPCC. Documento técnico V del IPCC.
- IPCC (2013). Cambio climático: Bases físicas. *Guía Resumida del Quinto Informe de Evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo I*.
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- IPCC (2018) Calentamiento global de 1,5°C. Un informe especial del IPCC sobre los impactos de la calentamiento de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales y las correspondientes trayectorias de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].
- Joseau, M. J., Reartes, S. R., & Eduardo, J. F. (2023). Advances in the Use of Neltuma (ex Prosopis) Pods for Human and Animal Consumption.
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Rojas-Soto, O. R., Vázquez, G., & Gallego-Fernández, J. B. (2013). Ecological niche modeling of coastal dune plants and future potential distribution in response to climate change and sea level rise. *Global change biology*, 19(8), 2524-2535.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069.
- Mayer, A. M., & Poljakoff-Mayber, A. (1982). *The Germination of Seeds: Pergamon International Library of Science, Technology, Engineering and Social Studies- Elsevier*.
- Mitchell, R. J., Hewison, R. L., Britton, A. J., Brooker, R. W., Cummins, R. P., Fielding, D. A., Fisher, J. M., Gilbert D. J., Hester, A. J., Hurskainen S., Pakeman R. J., Potts J. M., & Riach, D. (2017). Forty years of change in Scottish grassland vegetation: Increased richness, decreased diversity and increased dominance. *Biological Conservation*, 212, 327-336.
- Murphy, J. M., Booth, B. B., Collins, M., Harris, G. R., Sexton, D. M., & Webb, M. J. (2007). A methodology for probabilistic predictions of regional climate change from perturbed physics ensembles. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1857), 1993-2028.
- Navarro-Cano, J. A., Goberna, M., & Verdu, M. (2019). La facilitación entre plantas como herramienta de restauración de diversidad y funciones ecosistémicas. *Ecosistemas*, 28(2), 20-31.
- Olesen, J. E., Carter, T. R., Diaz-Ambrona, C. H., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., & Sykes, M. T. (2007). Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate

- models. *Climatic Change*, 81, 123-143.
- Oliva, G., García, G., Ferrante, D., Massara, V., Rimoldi, P., Díaz, P. B., & Gaitán, J. (2017). Estado de los recursos naturales renovables en la Patagonia Sur extraandina. *INTA Centro Regional Patagonia Sur*. Retrieved from <https://inta.gob.ar/documentos/estado-de-los-recursos-renovables-en-la-patagonia-sur-extra-andina>, 66.
- Orians, G. H., & Solbrig, O. T. (1977). A cost-income model of leaves and roots with special reference to arid and semiarid areas. *The American Naturalist*, 111(980), 677-690.
- Oyarzabal, M., Clavijo, J. R., Oakley, L. J., Biganzoli, F., Tognetti, P. M., Barberis, I. M., Maturo, H. M., Aragón M. R., Campanello P. I., Prado D. E., Oesterheld, M. & Leon, R. J. C. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología austral*, 28(01):040-063.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 637-669.
- Paruelo, J. M., Golluscio, R. A., Jobbágy, E. G., Canevari, M., & Aguiar, M. R. (2005). Situación ambiental en la estepa patagónica. *La situación ambiental argentina*, 302-320.
- Passera, C. B. (2000). Fisiología de *Prosopis spp.* *Multequina*, 9(2), 53-80.
- Pearce, J., & Lindenmayer, D. (1998). Bioclimatic analysis to enhance reintroduction biology of the endangered helmeted honeyeater (*Lichenostomus melanops cassidix*) in southeastern Australia. *Restoration ecology*, 6(3), 238-243.
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global ecology and biogeography*, 12(5), 361-371.
- Peterson, A. T., Papes, M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and MaxEnt. *Ecography* 30:550-560.
- Peterson, A. T., & Nakazawa, Y. (2008). Environmental data sets matter in ecological niche modelling: an example with *Solenopsis invicta* and *Solenopsis richteri*. *Global ecology and Biogeography*, 17(1), 135-144.
- Peterson, A. T., & Soberón, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação*, 10(2), 102-107.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.
- Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological applications*, 19(1), 181-197.
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2024). *Maxent software for modeling species niches and distributions* (Version 3.4.1). American Museum of Natural History. [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)
- Prohaska, F. 1976. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En: Schwerdtfeger, W. (Ed.). *The Climate of Central and South America*, World Survey of Climatology. Elsevier, New York, 13-143 pp.

- Pulliam, H. R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecology letters*, 3(4), 349-361.
- QGIS Development Team. (2024). *QGIS Geographic Information System* (Version 3.30.2-'s-Hertogenbosch'). Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>
- R Development Core Team. 2024. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing. Vienna, Austria.
- Riahi, K., Grübler, A., & Nakicenovic, N. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7), 887-935.
- Riveros, C. V., Meglioli, P. A., & Villagra, P. E. (2011). *Prosopis alpataco* Phil.(Fabaceae, Mimosoideae). *Kurtziana*, 36, 53-64.
- Rodriguez-Soto, C., Velazquez, A., Monroy-Vilchis, O., Lemes, P., & Loyola, R. (2017). Joint ecological, geographical and cultural approach to identify territories of opportunity for large vertebrates conservation in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 26, 1899-1918.
- Roig, F. A. (1987). Árboles y Arbustos de *Prosopis flexuosa* y *P. alpataco*. *Parodiana*, 5(1), 49-64.
- Romo, H., Sanabria, P., & García-Barros, E. (2013). Predicción de los impactos del cambio climático en la distribución sobre las especies de Lepidoptera. El caso del género *Boloria Moore*, 1900 en la Península Ibérica (Lepidoptera: Nymphalidae). *SHILAP Revista de lepidopterología*, 41(162), 267-286.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2003). Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085-AR, Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 243.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2007). Primer inventario nacional de bosques nativos: informe regional monte. 1ª ed.- Buenos Aires, 1-54.
- Shachak, M., Sachs, M., & Moshe, I. (1998). Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1(5), 475-483.
- Soberón, J. M. (2010). Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*, 33(1), 159-167.
- Soberón, J. M., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas.
- Sosa, L., Llanes, A., Reinoso, H., Reginato, M., & Luna, V. (2005). Osmotic and specific ion effects on the germination of *Prosopis strombulifera*. *Annals of botany*, 96(2), 261-267.
- Stavi, I., & Lal, R. (2015). Achieving zero net land degradation: challenges and opportunities. *Journal of Arid Environments*, 112, 44-51.
- Takolander, A., Hickler, T., Meller, L., & Cabeza, M. (2019). Comparing future shifts in tree species distributions across Europe projected by statistical and dynamic process-based models. *Regional Environmental Change*, 19, 251-266.
- Trejo, M. (1983). Paleobiología y taxonomía de algunos fósiles mesozoicos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 44(2), 1-22.

- VanDerWal, J., Shoo, L. P., Johnson, C. N., & Williams, S. E. (2009). Abundance and the environmental niche: environmental suitability estimated from niche models predicts the upper limit of local abundance. *The American Naturalist*, 174(2), 282-291.
- Van Zonneveld, M., Koskela, J., Vinceti, B., & Jarvis, A. (2009). Impact of climate change on the distribution of tropical pines in Southeast Asia. *Unasylva*, 60(231/232), 24-28.
- Venier, M. P., Cosacov Martinez, A., López Lauenstein, D., Vega, C., & Verga, A. (2013). Impacto del cambio climático sobre la distribución de *Prosopis hassleri* y *P. alba* en la región Chaqueña.
- Villagra, P. E., & Cavagnaro, J. B. (1998). Comparación del comportamiento fitosociológico y ecofisiológico de *Prosopis argentina* y *P. alpataco* (Fabaceae, Mimosoideae). Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. pp 130.
- Villagra, P. E. (2000). Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos. *Multequina*, 9(2), 35-51.
- Villagra, P. E., & Cavagnaro, J. B. (2006). Water stress effects on the seedling growth of *Prosopis argentina* and *P. alpataco*. *Journal of Arid Environments*, 64(3), 390-400.
- Villagra, P. E., Vilela, A., Giordano, C., & Alvarez, J. A. (2009). Ecophysiology of *Prosopis* species from the arid lands of Argentina: What do we know about adaptation to stressful environments?. In *Desert plants: biology and biotechnology* (pp. 321-340). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Watson Chair, Robert T. (2000). Intergovernmental Panel on Climate Change. Presentation at the Sixth Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Wei, T. & Viliam, S. 2021. Corrplot: Visualization of a Correlation Matrix. <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- Wisz, M. S., R. J. Hijmans, J. Li, A. T. Peterson, C. H. Graham, A. Guisan, & N. P. S. Distribut. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14:763-773.
- Zamora, R., García-Fayos, P., & Gómez-Aparicio, L. (2004). Las interacciones planta-planta y planta-animal en el contexto de la sucesión ecológica. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 371-393.
- Zuloaga, F.O. & Morrone, O. (2008). Catálogo de las Plantas Vasculares de la República Argentina. Dicotyledoneae. Monograph. in Systematic Botany 74. Missouri Botanical Garden Press. En línea: <http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/Flora Argentina/fa.htm>

# **ANEXO I**

## **Registros de presencia**

Anexo 1.1. Ubicación geográfica de los registros de la especie *N. denudans* expresados en grados decimales.

<i>Nombre científico</i>	Latitud	Longitud	<i>Nombre científico</i>	Latitud	Longitud
<i>Neltuma denudans</i>	-45,091852	-66,508486	<i>Neltuma denudans</i>	-29,2382	-69,2662
<i>Neltuma denudans</i>	-40,350307	-68,443722	<i>Neltuma denudans</i>	-31,8894	-69,2651
<i>Neltuma denudans</i>	-47,679408	-68,100747	<i>Neltuma denudans</i>	-40,810416	-65,088055
<i>Neltuma denudans</i>	-47,711512	-67,659797	<i>Neltuma denudans</i>	-47,160277	-69,015194
<i>Neltuma denudans</i>	-36,824947	-69,536201	<i>Neltuma denudans</i>	-45,796219	-68,746611
<i>Neltuma denudans</i>	-40,457324	-68,274929	<i>Neltuma denudans</i>	-45,694822	-68,514383
<i>Neltuma denudans</i>	-37,324784	-68,965641	<i>Neltuma denudans</i>	-45,703025	-68,236597
<i>Neltuma denudans</i>	-36,813199	-69,875579	<i>Neltuma denudans</i>	-46,579936	-68,557527
<i>Neltuma denudans</i>	-42,553825	-69,867966	<i>Neltuma denudans</i>	-46,776833	-68,183388
<i>Neltuma denudans</i>	-44,603056	-66,5325	<i>Neltuma denudans</i>	-46,707008	-68,294652
<i>Neltuma denudans</i>	-47,218611	-68,143333	<i>Neltuma denudans</i>	-46,73765	-68,418391
<i>Neltuma denudans</i>	-39,035454	-67,920847	<i>Neltuma denudans</i>	-46,800716	-68,169222
<i>Neltuma denudans</i>	-45,305278	-67,771389	<i>Neltuma denudans</i>	-46,718025	-68,227277
<i>Neltuma denudans</i>	-37,666389	-70,243055	<i>Neltuma denudans</i>	-46,734575	-68,225575
<i>Neltuma denudans</i>	-37,43333	-70,3	<i>Neltuma denudans</i>	-46,706447	-68,402797
<i>Neltuma denudans</i>	-38,07222	-70,13222	<i>Neltuma denudans</i>	-46,679522	-68,419725
<i>Neltuma denudans</i>	-40,88833	-68,12027	<i>Neltuma denudans</i>	-46,75978	-68,196477
<i>Neltuma denudans</i>	-38,666667	-70	<i>Neltuma denudans</i>	-46,751838	-68,258563
<i>Neltuma denudans</i>	-41,71666	-67,15	<i>Neltuma denudans</i>	-45,949472	-69,174861
<i>Neltuma denudans</i>	-42,46805	-64,42083	<i>Neltuma denudans</i>	-45,793777	-68,905888
<i>Neltuma denudans</i>	-42,15	-63,83333	<i>Neltuma denudans</i>	-46,102491	-69,015194
<i>Neltuma denudans</i>	-37,38	-69,52	<i>Neltuma denudans</i>	-40,460554	-68,313957
<i>Neltuma denudans</i>	-43,49	-69,01	<i>Neltuma denudans</i>	-46,762833	-68,292916
<i>Neltuma denudans</i>	-38,92	-69,83	<i>Neltuma denudans</i>	-45,783944	-68,545888
<i>Neltuma denudans</i>	-36,85	-70,26	<i>Neltuma denudans</i>	-45,801722	-68,565611
<i>Neltuma denudans</i>	-38,87	-68,88	<i>Neltuma denudans</i>	-45,768388	-68,569777
<i>Neltuma denudans</i>	-45,22	-67,82	<i>Neltuma denudans</i>	-45,821527	-68,612972
<i>Neltuma denudans</i>	-45,55	-69,13	<i>Neltuma denudans</i>	-45,629027	-68,204527
<i>Neltuma denudans</i>	-36,14	-69,37	<i>Neltuma denudans</i>	-45,735952	-68,625508
<i>Neltuma denudans</i>	-43,71	-66,89	<i>Neltuma denudans</i>	-45,788916	-68,466888
<i>Neltuma denudans</i>	-35,98	-69,74	<i>Neltuma denudans</i>	-45,799594	-68,623494
<i>Neltuma denudans</i>	-43,26	-66,06	<i>Neltuma denudans</i>	-45,830486	-68,631808
<i>Neltuma denudans</i>	-42,282222	-66,978611	<i>Neltuma denudans</i>	-45,799833	-68,637055
<i>Neltuma denudans</i>	-47,68	-67,7	<i>Neltuma denudans</i>	-45,798302	-68,650902
<i>Neltuma denudans</i>	-40,89	-66,51	<i>Neltuma denudans</i>	-45,64893	-68,191808
<i>Neltuma denudans</i>	-35,3869	-64,9208	<i>Neltuma denudans</i>	-44,673055	-66,664444
<i>Neltuma denudans</i>	-36,8145	-69,8894	<i>Neltuma denudans</i>	-45,833333	-67,5
<i>Neltuma denudans</i>	-43,3554	-65,4546	<i>Neltuma denudans</i>	-45,868055	-67,5
<i>Neltuma denudans</i>	-40,4606	-68,132	<i>Neltuma denudans</i>	-45,785527	-67,5675
<i>Neltuma denudans</i>	-38,1265	-68,3922	<i>Neltuma denudans</i>	-45,823027	-68,963361
<i>Neltuma denudans</i>	-43,76538	-65,447083	<i>Neltuma denudans</i>	-37,717483	-68,89178
<i>Neltuma denudans</i>	-37,798797	-68,900318			
<i>Neltuma denudans</i>	-47,6935	-68,066			

Anexo 1.2. Ubicación geográfica de los registros de la especie *N. alpataco* expresados en grados decimales.

<i>Nombre científico</i>	Latitud	Longitud	<i>Nombre científico</i>	Latitud	Longitud
<i>Neltuma alpataco</i>	-42,784403	-65,00884	<i>Neltuma alpataco</i>	-34,022222	-65,5775
<i>Neltuma alpataco</i>	-40,752619	-64,91404	<i>Neltuma alpataco</i>	-42,64166	-64,03888
<i>Neltuma alpataco</i>	-42,763622	-65,034831	<i>Neltuma alpataco</i>	-34,574722	-65,314722
<i>Neltuma alpataco</i>	-32,970474	-69,23979	<i>Neltuma alpataco</i>	-33,25	-66,266667
<i>Neltuma alpataco</i>	-38,780708	-70,026067	<i>Neltuma alpataco</i>	-39,02	-62,78
<i>Neltuma alpataco</i>	-38,945176	-68,293248	<i>Neltuma alpataco</i>	-43,29	-65,58
<i>Neltuma alpataco</i>	-37,879154	-67,791907	<i>Neltuma alpataco</i>	-33,36	-68,59
<i>Neltuma alpataco</i>	-37,840325	-67,739012	<i>Neltuma alpataco</i>	-42,64	-64,02
<i>Neltuma alpataco</i>	-37,368794	-64,599867	<i>Neltuma alpataco</i>	-32,41	-69,25
<i>Neltuma alpataco</i>	-40,676758	-66,151015	<i>Neltuma alpataco</i>	-40,95	-66,37
<i>Neltuma alpataco</i>	-37,774957	-67,713473	<i>Neltuma alpataco</i>	-34,94	-68,36
<i>Neltuma alpataco</i>	-34,63486	-68,583079	<i>Neltuma alpataco</i>	-30,28	-69,23
<i>Neltuma alpataco</i>	-40,784123	-64,845285	<i>Neltuma alpataco</i>	-30,63	-67,47
<i>Neltuma alpataco</i>	-40,756389	-66,375278	<i>Neltuma alpataco</i>	-35,37	-69,59
<i>Neltuma alpataco</i>	-37,892651	-67,789597	<i>Neltuma alpataco</i>	-36,14	-69,37
<i>Neltuma alpataco</i>	-33,498939	-68,641998	<i>Neltuma alpataco</i>	-38,57	-62,18
<i>Neltuma alpataco</i>	-35,63604	-63,788177	<i>Neltuma alpataco</i>	-40,12	-62,88
<i>Neltuma alpataco</i>	-38,934788	-68,05992	<i>Neltuma alpataco</i>	-32,47	-67,95
<i>Neltuma alpataco</i>	-34,610322	-68,297598	<i>Neltuma alpataco</i>	-37,26	-67,66
<i>Neltuma alpataco</i>	-40,758335	-65,028053	<i>Neltuma alpataco</i>	-38,99	-68,38
<i>Neltuma alpataco</i>	-42,782047	-64,997005	<i>Neltuma alpataco</i>	-35,3869	-64,9208
<i>Neltuma alpataco</i>	-31,458306	-68,705889	<i>Neltuma alpataco</i>	-38,1925	-63,841944
<i>Neltuma alpataco</i>	-30,735111	-67,425639	<i>Neltuma alpataco</i>	-41,132222	-63,040833
<i>Neltuma alpataco</i>	-33,671389	-67,319167	<i>Neltuma alpataco</i>	-43,297487	-65,795212
<i>Neltuma alpataco</i>	-38,260322	-67,177008	<i>Neltuma alpataco</i>	-40,8	-63,233333
<i>Neltuma alpataco</i>	-39,258813	-68,782055	<i>Neltuma alpataco</i>	-38,350922	-68,791147
<i>Neltuma alpataco</i>	-40,798341	-65,06768	<i>Neltuma alpataco</i>	-39,5	-65,5
<i>Neltuma alpataco</i>	-38,873087	-68,144525	<i>Neltuma alpataco</i>	-37,366667	-65,766667
<i>Neltuma alpataco</i>	-34,916944	-68,855	<i>Neltuma alpataco</i>	-40,395556	-62,571111
<i>Neltuma alpataco</i>	-37,798611	-65,408333			
<i>Neltuma alpataco</i>	-40,914167	-65,488333			
<i>Neltuma alpataco</i>	-39,341944	-64,499167			
<i>Neltuma alpataco</i>	-31,364444	-69,470833			
<i>Neltuma alpataco</i>	-38,99853	-67,981873			
<i>Neltuma alpataco</i>	-38,248858	-67,682162			
<i>Neltuma alpataco</i>	-39,464483	-69,355362			
<i>Neltuma alpataco</i>	-37,56666	-66,48333			
<i>Neltuma alpataco</i>	-38,80055	-67,99555			
<i>Neltuma alpataco</i>	-31,33333	-69,66666			
<i>Neltuma alpataco</i>	-31,712778	-68,137778			
<i>Neltuma alpataco</i>	-41,63333	-65,38333			
<i>Neltuma alpataco</i>	-42,31666	-63,86666			
<i>Neltuma alpataco</i>	-31,41666	-67,1			

# **ANEXO II**

**Matriz de contribución de variables  
bioclimáticas, topográficas y ambientales**

Anexo 2.1 Prueba de Jackknife que determina contribución de cada una de las variables bioclimáticas, topográficas y ambientales al modelo por especie (%). BIO1 (temperatura media anual), BIO2 (rango diurno medio), BIO3 (isotermalidad), BIO4 (estacionalidad de la temperatura), BIO5 (temperatura máxima del mes más cálido), BIO6 (temperatura mínima del mes más frío), BIO7 (rango de temperatura anual), BIO8 (temperatura media del trimestre más húmedo), BIO9 (temperatura media del cuarto más seco), BIO10 (temperatura media del trimestre más cálido), BIO11 (temperatura media del cuarto más frío), BIO12 (precipitación media anual), BIO13 (precipitación del mes más húmedo), BIO14 (precipitación del mes más seco), BIO15 (estacional de la precipitación), BIO16 (precipitación del cuarto más húmedo), BIO17 (precipitación del cuarto más seco), BIO18 (precipitación del trimestre más cálido), BIO19 (precipitación del trimestre más frío), Elev. (elevación), Pend. (pendiente), Orien. (orientación), Aridez (Índice de aridez) y NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Se muestra en negrita las cinco variables no correlacionadas que contribuyen significativamente al modelo por cada una de las especies.

Nombre científico	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19
<i>N. alpataco</i>	11.00	1.10	0.00	18.30	0.50	0.20	4.40	17.30	0.50	2.00	4.10	0.80	1.60	0.10	1.70	1.10	1.50	0.00	0.60
<i>N. denudans</i>	0.30	1.40	0.00	1.30	0.10	3.70	0.70	1.10	23.40	8.60	0.60	1.00	2.60	7.60	5.70	1.00	0.10	26.20	0.20

Nombre científico	Elevación	Pendiente	Orientación	Índice de Aridez	NDVI
<i>N. alpataco</i>	15.90	1.00	0.80	15.10	0.30
<i>N. denudans</i>	1.90	0.60	0.10	11.50	0.20

Anexo 2.2 Matriz de contribución de las variables bioclimáticas, topográficas y ambientales.

Variabes	Elev.	Aridez	NDVI	Orien.	Pend.	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19
Elevación	1	-0,06	0,10	-0,17	0,07	-0,55	0,01	0,44	-0,20	-0,44	-0,71	-0,12	-0,45	-0,24	-0,51	-0,57	-0,14	-0,09	-0,13	0,22	-0,09	-0,12	-0,27	0,03
Aridez		1	0,19	-0,05	-0,01	0,03	-0,13	-0,03	-0,20	-0,04	0,11	-0,14	0,17	-0,23	0,00	0,07	<b>0,84</b>	0,76	0,63	0,18	0,77	0,63	0,61	0,44
NDVI			1	0,00	0,08	-0,11	-0,20	-0,14	-0,16	-0,14	-0,01	-0,17	-0,01	-0,17	-0,12	-0,08	0,35	0,30	0,32	-0,08	0,30	0,32	0,31	0,25
Orientación				1	-0,06	0,21	0,15	-0,06	0,20	0,22	0,14	0,19	0,20	0,04	0,22	0,18	-0,11	-0,10	-0,11	-0,03	-0,10	-0,11	-0,03	-0,14
Pendiente					1	-0,13	-0,08	0,02	-0,09	-0,12	-0,09	-0,10	-0,14	-0,01	-0,13	-0,12	0,04	0,03	0,05	-0,02	0,03	0,05	-0,03	0,07
BIO1						1	0,66	0,05	0,63	<b>0,95</b>	<b>0,85</b>	0,70	<b>0,89</b>	0,37	<b>0,99</b>	<b>0,97</b>	-0,16	-0,04	-0,35	0,40	-0,06	-0,35	0,19	-0,35
BIO2							1	0,35	<b>0,87</b>	<b>0,85</b>	0,22	<b>0,97</b>	0,59	0,21	0,75	0,52	-0,47	-0,33	-0,61	0,33	-0,35	-0,61	-0,25	-0,48
BIO3								1	-0,14	0,09	0,01	0,10	0,01	0,15	0,02	0,11	-0,11	0,05	-0,27	0,47	0,03	-0,26	-0,22	0,04
BIO4									1	0,82	0,17	<b>0,96</b>	0,56	0,16	0,75	0,44	-0,51	-0,44	-0,56	0,07	-0,46	-0,55	-0,23	-0,57
BIO5										1	0,67	<b>0,88</b>	<b>0,82</b>	0,37	<b>0,98</b>	<b>0,86</b>	-0,30	-0,16	-0,48	0,36	-0,18	-0,48	0,00	-0,42
BIO6											1	0,24	0,70	0,46	0,76	<b>0,93</b>	0,15	0,25	-0,05	0,37	0,24	-0,06	0,34	-0,02
BIO7												1	0,63	0,19	<b>0,80</b>	0,53	-0,48	-0,37	-0,59	0,23	-0,39	-0,59	-0,21	-0,53
BIO8													1	-0,03	<b>0,87</b>	<b>0,86</b>	-0,09	-0,05	-0,23	0,29	-0,06	-0,24	0,38	-0,41
BIO9														1	0,36	0,40	-0,08	0,11	-0,27	0,40	0,10	-0,27	-0,29	0,14
BIO10															1	<b>0,92</b>	-0,24	-0,12	-0,42	0,36	-0,14	-0,42	0,11	-0,41
BIO11																1	-0,03	0,08	-0,25	0,45	0,07	-0,25	0,27	-0,23
BIO12																	1	<b>0,93</b>	<b>0,86</b>	-0,02	<b>0,94</b>	<b>0,88</b>	0,75	<b>0,85</b>
BIO13																		1	0,63	0,26	1,00	0,65	0,60	<b>0,89</b>
BIO14																			1	-0,37	0,66	<b>1,00</b>	0,70	0,67
BIO15																				1	0,23	-0,36	-0,04	0,07
BIO16																					1	0,68	0,62	<b>0,90</b>
BIO17																						1	0,70	0,70
BIO18																							1	0,31
BIO19																								1

# **ANEXO III**

## **Áreas de idoneidad ambiental**

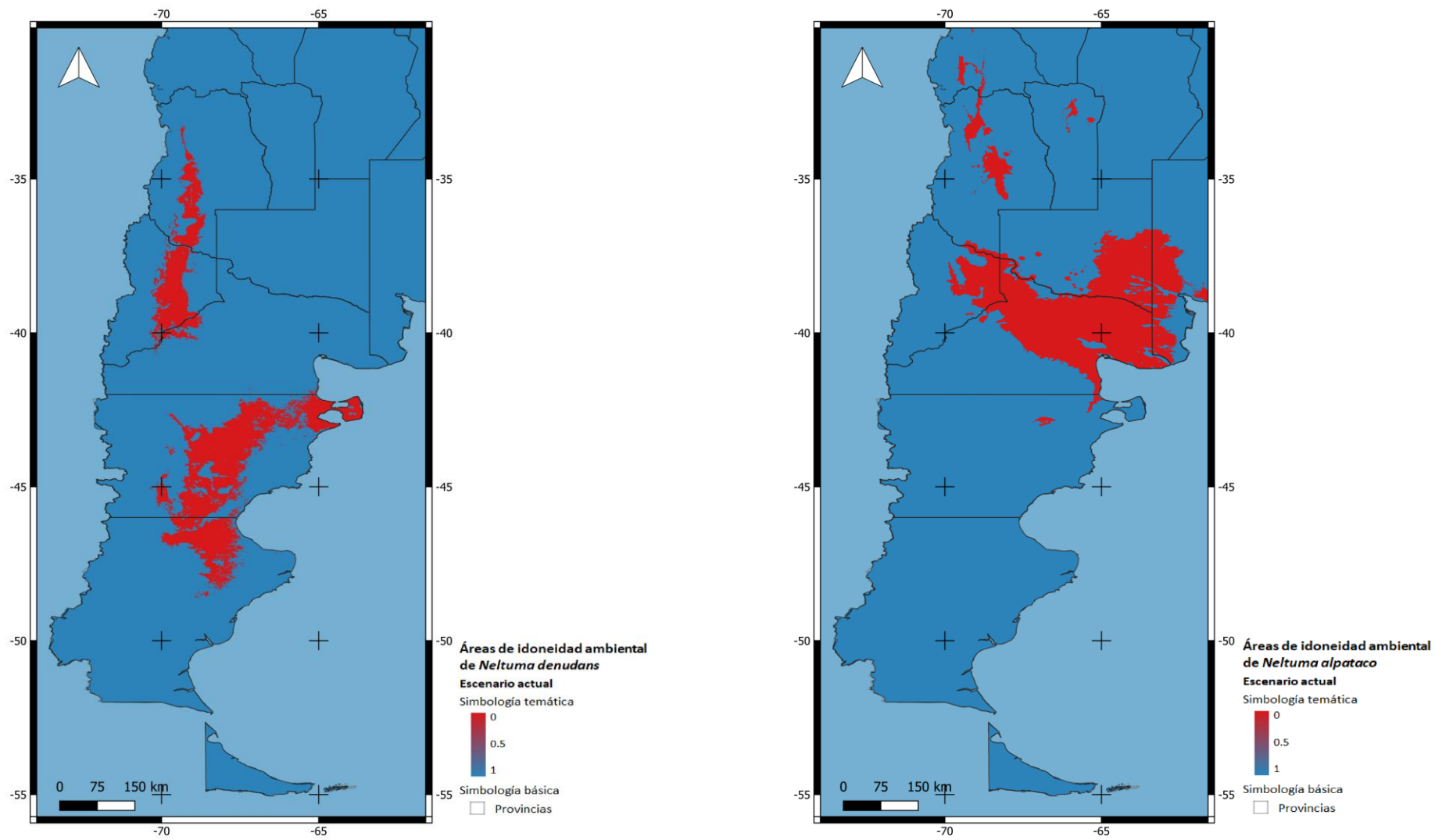


Fig. 1. Áreas de idoneidad ambiental de las especies *N. denudans* y *N. alpataco* en el escenario actual (1970 – 2000).

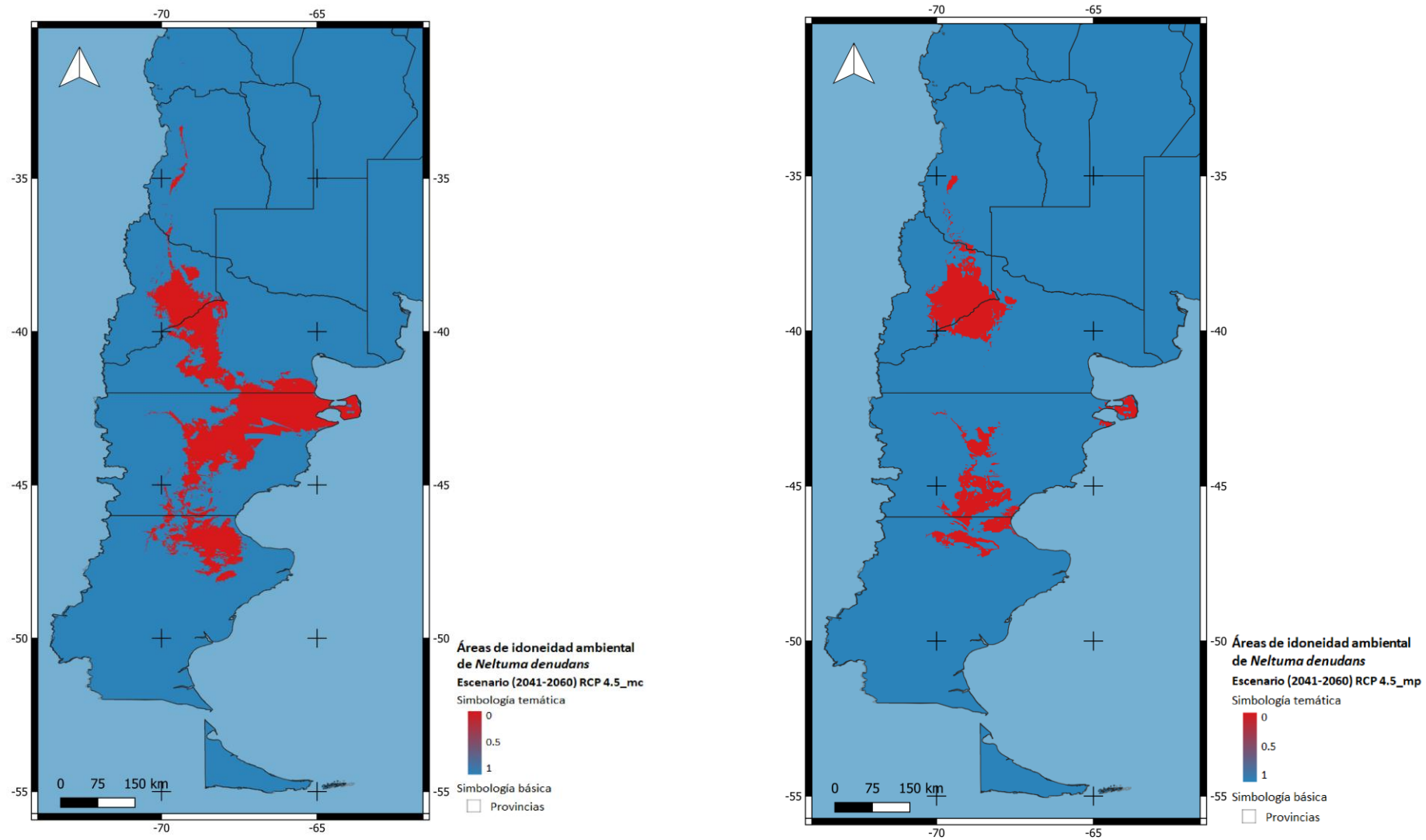


Fig. 2. Áreas de idoneidad ambiental de la especie *N. denudans* en el escenario optimista RCP 4.5, periodo (2041 – 2060) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

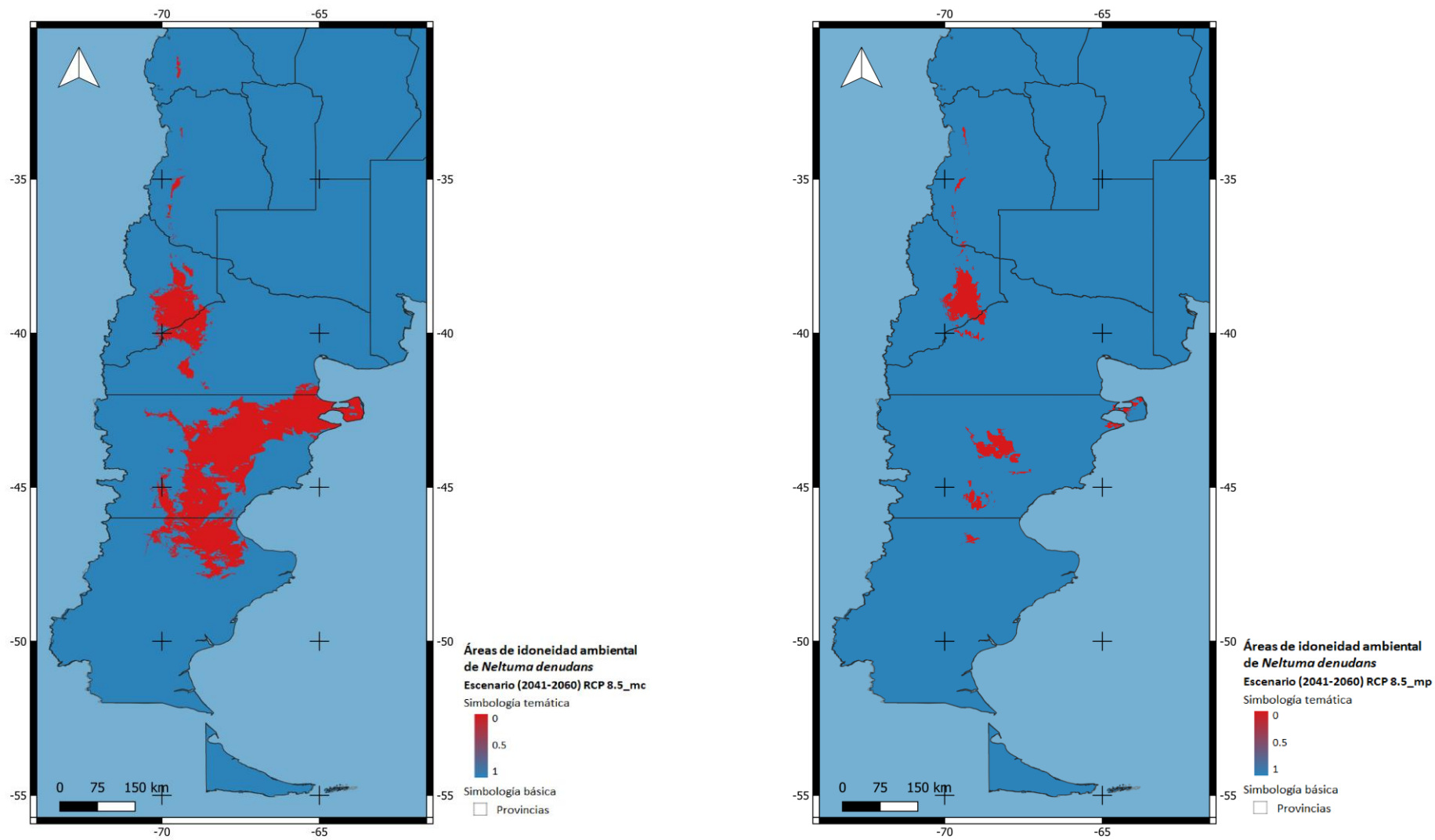


Fig. 3. Áreas de idoneidad ambiental de la especie *N. denudans* en el escenario pesimista RCP 8.5, periodo (2041 – 2060) y dos modelos climáticos globales MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.).

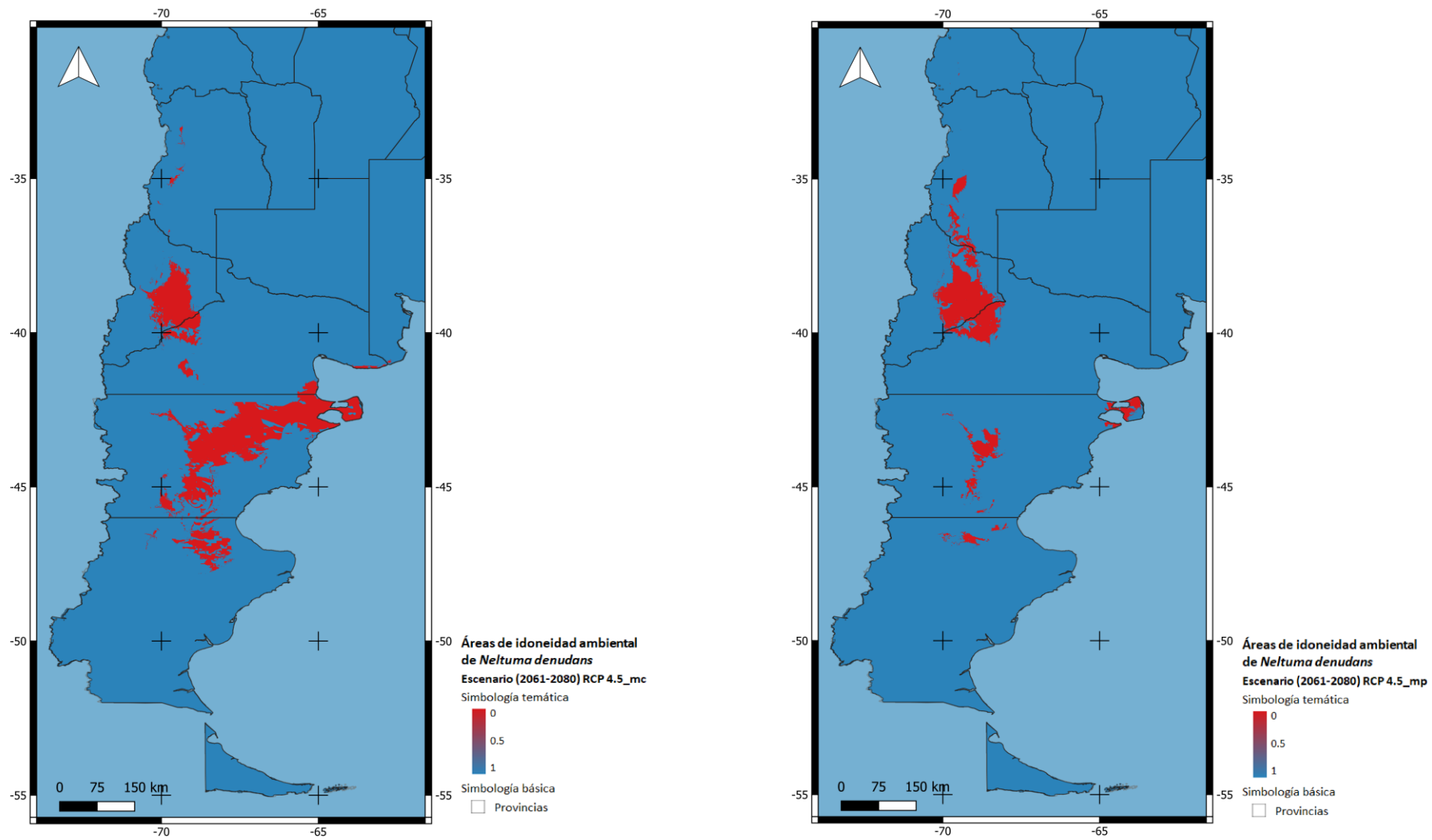


Fig. 4. Áreas de idoneidad ambiental de la especie *N. denudans* en el escenario optimista RCP 4.5, periodo (2061 – 2080) y dos modelos climáticos globales MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.).

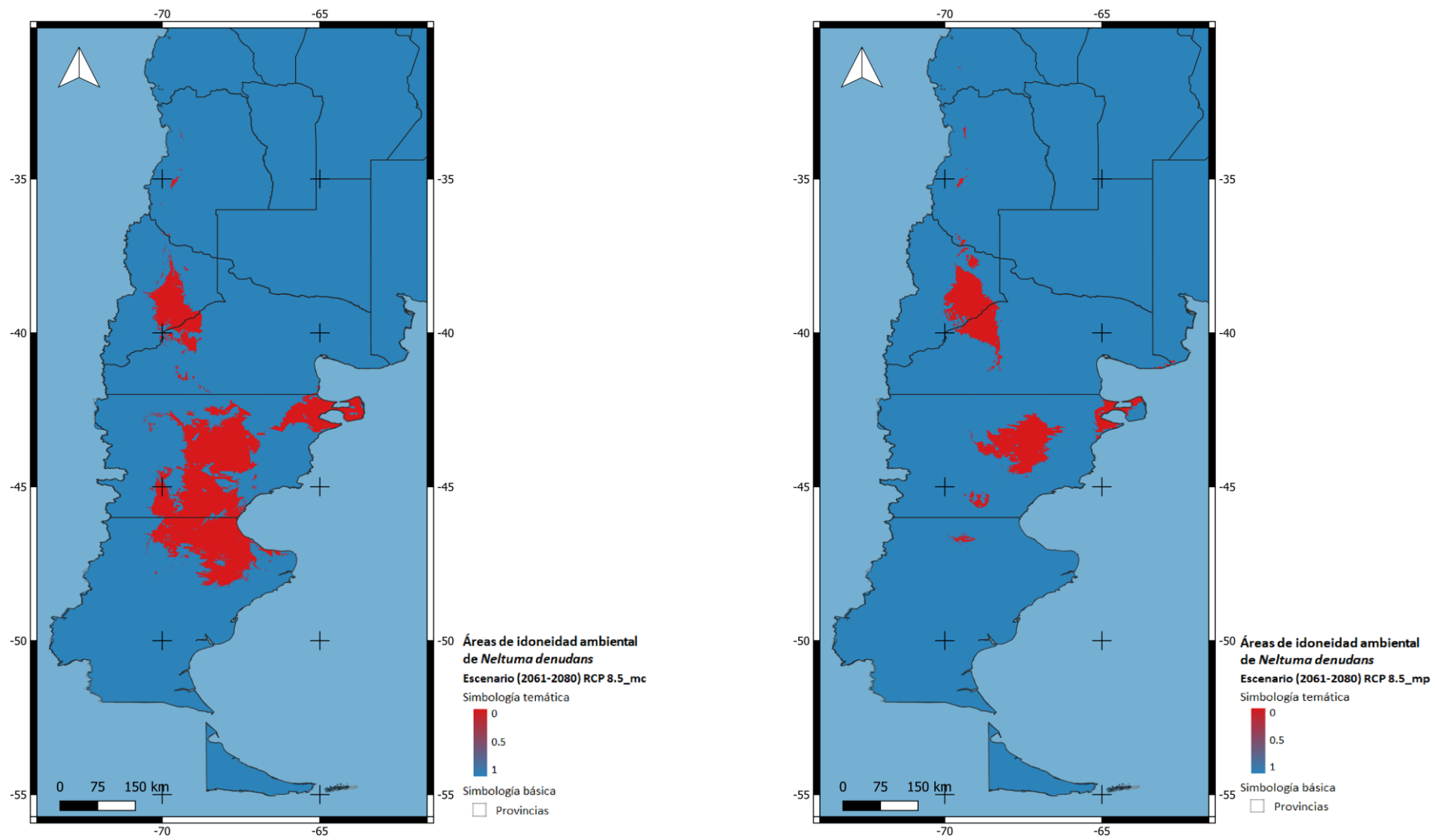


Fig. 5. Áreas de idoneidad ambiental de la especie *N. denudans* en el escenario pesimista RCP 8,5, periodo (2061 – 2080) y dos modelos climáticos globales MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.).

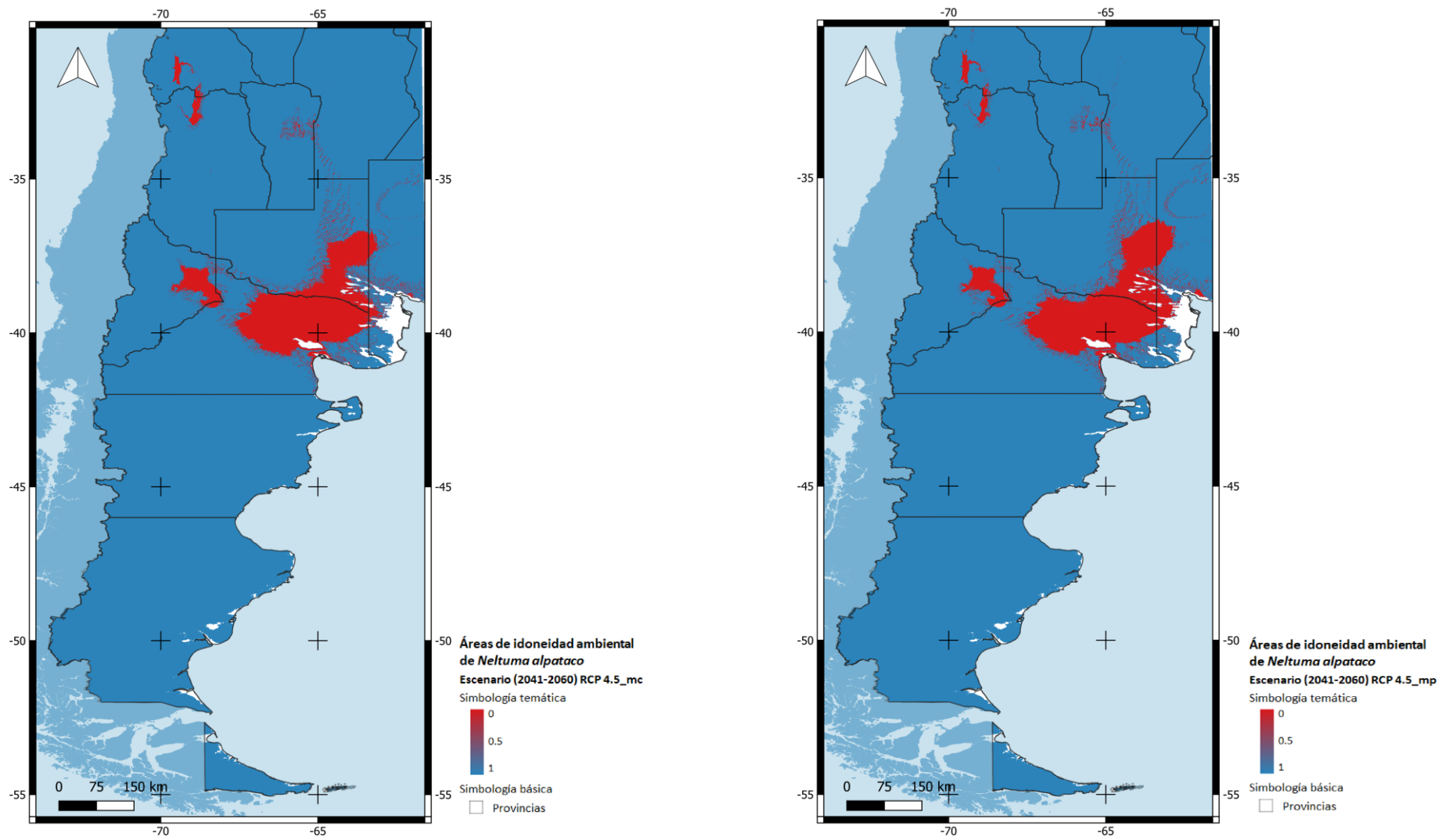


Fig. 6. Áreas de idoneidad ambiental de la especie *N. alpataco* en el escenario optimista RCP 4.5, periodo (2041 – 2060) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

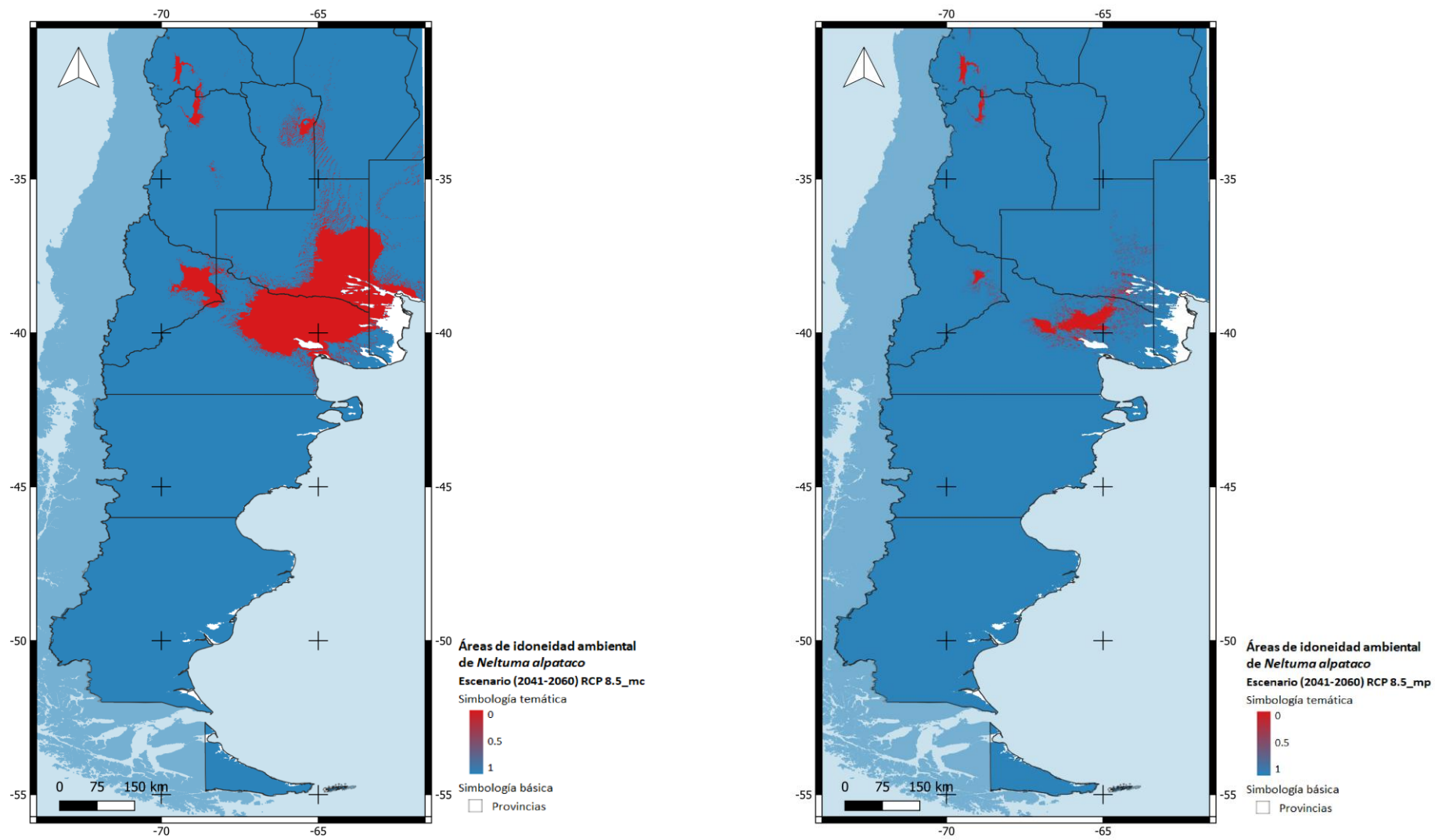


Fig. 7. Áreas de idoneidad ambiental de la especie *N. alpataco* en el escenario pesimista RCP 8,5, periodo (2041 – 2060) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

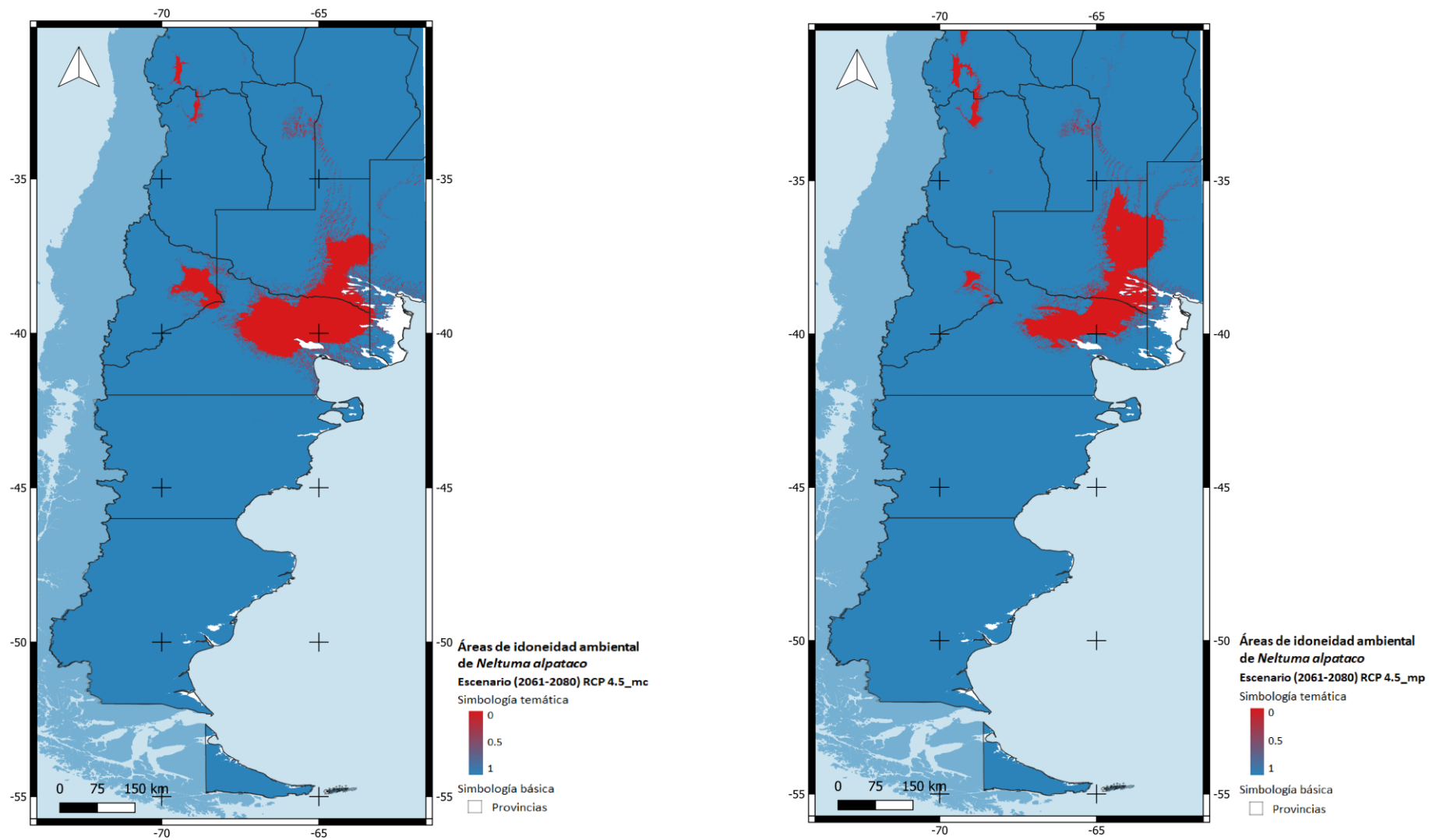


Fig. 8. Áreas de idoneidad ambiental de la especie *N. alpataco* en el escenario optimista RCP 4.5, periodo (2061 – 2080) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).

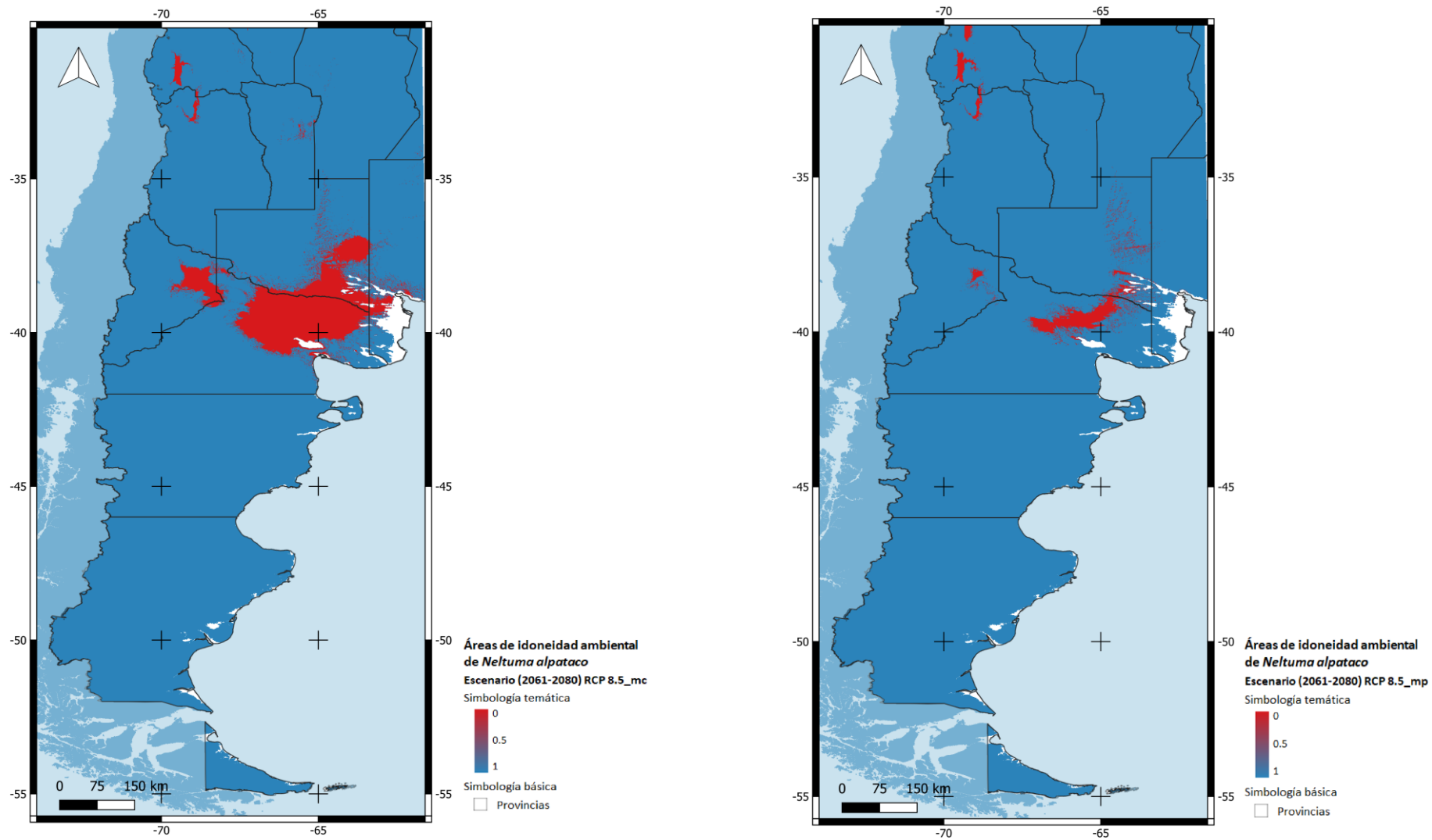


Fig. 9. Áreas de idoneidad ambiental de la especie *N. alpataco* en el escenario pesimista RCP 8.5, periodo (2061 – 2080) y dos modelos climáticos globales (MIROC5 (izq.) y MPI-ESM-LR (dcha.)).