



CONICET



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DEL NOROESTE

I B O N E



LICENCIATURA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

**Modelado de nicho ecológico del “espartillo”  
(*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze, Poaceae), especie  
con uso medicinal e industrial potencial**

**Autora: María Camila Bagliani**

**2023**



# TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

LICENCIATURA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

## Modelado de nicho ecológico del “espartillo” (*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze, Poaceae), especie con uso medicinal e industrial potencial

AUTORA: **BAGLIANI**, María Camila

DIRECTORA: **Dra. MORENO**, Ercilia María Sara

CODIRECTORA: **Dra. SOLÍS NEFFA**, Viviana  
Griselda

Instituto de Botánica del Nordeste (UNNE-CONICET)  
Laboratorio de Citogenética y Evolución Vegetal.

2023

# Agradecimientos

En un momento como este se posan por mi cabeza miles y miles de recuerdos, unidos a todas estas personas a las que les agradezco desde lo profundo de mi corazón:

Gracias a mis directoras por guiarme durante este proceso: a Sara por acompañarme todo este tiempo con mucha paciencia y vocación. Por pasarse horas en la compu buscando darle la vuelta de tuerca para solucionar inconvenientes y que todo salga lo mejor posible. A la profe Viviana por abrirme las puertas a su grupo de trabajo con tanta amabilidad, predisposición, y por calmar mis ansiedades cuando lo necesitaba (lo cual fue muchas veces necesario).

A mamá y a papá, que ellos mejor que cualquiera saben todo el esfuerzo que hay detrás de esto, y que desde el momento 0 estuvieron, y están al lado mío bancando cada paso, ya sea uno chiquito, o uno enorme como este... secándome las lágrimas o brindando triunfos. Se los debo todo. A mis abuelas que no se desprendían de la vela rezando cuando iba a rendir y me mandaban todo su amor. A mis tías que constantemente me acompañan y siempre tienen las palabras correctas para reconfortar mi corazón. A mis primos que siempre están para sacarme una sonrisa. Todos ellos son mi lugar seguro cuando todo se cae.

Gracias a la universidad pública por permitirme estudiar esta carrera que me apasiona a niveles inimaginables, lograr ser bióloga es un superpoder. Gracias a ella logré conocer personitas extraordinarias que tengo el honor de llamar amigos: Sofi, Guadita, Mauri, Tomi, Joaquín y Guille. Fue y es hermoso aprender y maravillarnos juntos. Encontrar gente con el mismo amor a la ciencia simplemente no tiene precio. Me es imposible imaginar un camino transitado sin ellos. En especial, gracias a Sofi y a Guada que desde primero nos agarramos de la mano y no nos soltamos más. Ellas me ayudaron a seguir cuando el camino era escabroso para las tres.

A Dani y Anto que tengo la gracia de decir que son un constante en mi vida desde el colegio, sin importar el tiempo que transcurra, convergemos.

A Franco por estar, por acompañarme durante este último tramo que sin duda fue el más difícil. Por poder compartir con él lo que aprendía y hacía brillar mis ojos, y por emocionarse conmigo. Por darme calma cuando sentía que la vida dolía demasiado.

A Dani, que sin ella realmente no estaría acá. A Aldi por ser ese ser tan hermoso con el que siempre puedo contar, reír y llorar.

Y por último y para nada menos importante, gracias a mí, por no dejarme, y aferrarme con uñas y dientes a la vida.

Transitar estos años no fue para nada fácil, pero sí que vale cada lágrima, cada risa, y cada tropezón.

# Índice General

<b>Resumen</b> .....	<b>7</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>9</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>11</b>
<b>Hipótesis del Trabajo</b> .....	<b>11</b>
<b>Materiales y Métodos</b> .....	<b>12</b>
Especie estudiada .....	12
Modelado de Nicho Ecológico.....	14
Datos de presencia .....	14
Delimitación del área M .....	14
Datos bioclimáticos .....	15
Variables edáficas.....	16
Modelado de la distribución potencial actual.....	17
Uso y cobertura del suelo .....	18
Modelado del impacto de escenarios futuros de cambio climático .....	19
Evaluación de los modelos .....	20
Requerimientos ecológicos.....	20
<b>Resultados</b> .....	<b>21</b>
Modelado de Nicho Ecológico.....	21
-Datos de presencia.....	21
-VARIABLES bioclimáticas y edáficas.....	21
Modelado de la distribución potencial actual.....	21
Uso y cobertura de suelo .....	24
Modelado del impacto de escenarios futuros de cambio climático .....	26
Requerimientos ecológicos .....	35
<b>Discusión</b> .....	<b>36</b>
Biogeografía y requerimientos ecológicos de <i>Elionurus muticus</i> .....	36
Impacto del cambio de uso/cobertura del suelo. ....	37
Modelado del impacto de escenarios futuros de cambio climático .....	37
Requerimientos para el cultivo. Posible Influencia de las condiciones climáticas en la producción de citral. Selección de áreas más específicas para el cultivo.....	38
<b>Conclusiones</b> .....	<b>41</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>42</b>
<b>Anexo</b> .....	<b>48</b>

<b>Evaluación de la Directora y Co-Directora .....</b>	<b>69</b>
<b>Descripción de las actividades.....</b>	<b>69</b>
<b>Obstáculos y dificultades en el desarrollo del plan.....</b>	<b>70</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Código, descripción y unidad de medida de cada variable bioclimática obtenida de la base WorldClim Global Climate GIS.....	<b>16</b>
<b>Tabla 2.</b> Código, descripción y unidad de medida de cada variable edáfica obtenida de la base de datos ISRIC—World Soil Information.....	<b>17</b>
<b>Tabla 3.</b> Clasificación y descripción de las diez clases de uso y cobertura de suelo .....	<b>19</b>
<b>Tabla 4.</b> Métricas de validación: umbral de corte y AUC promedio del mejor conjunto de parámetros para los modelos del presente basados en las variables bioclimáticas, y bioclimáticas y edáficas, de <i>Elionurus muticus</i> . .....	<b>22</b>
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de contribución de variables bioclimáticas seleccionadas al MNE del presente de <i>Elionurus muticus</i> . .....	<b>23</b>
<b>Tabla 6.</b> Contribución de las variables bioclimáticas y edáficas al MNE del presente de <i>Elionurus muticus</i> .....	<b>23</b>
<b>Tabla 7.</b> Valores del Umbral de corte, AUC promedio y porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas al MNE de <i>Elionurus muticus</i> .....	<b>26</b>
<b>Tabla 8.</b> Rango de valores óptimos, y valores máximos obtenidos para cada variable bioclimática y edáfica ordenadas según su contribución al MNE de <i>E. muticus</i> en la actualidad. ....	<b>35</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Elionurus muticus</i> . A y C, detalle de las matas. B y D, detalle de las inflorescencias. Fotografías tomadas de la página web del Instituto de Botánica Darwinion.....	<b>13</b>
<b>Figura 2.</b> Puntos de ocurrencia analizados de <i>E. muticus</i> en las diferentes ecorregiones de Sudamérica (definidas según Olson et al., 2001). En línea punteada se indica el área M. ....	<b>15</b>
<b>Figura 3.</b> Parámetros seleccionados para los MNEs a partir del Delta AICc obtenido de la plataforma Wallace. Los valores de cada parámetro se indican a continuación de su correspondiente sigla: H (hinge), L (linear), LQ (linear-quadratic), LQH (linear-quadratic-hinge) y LQHP (linear-quadratic-hinge-product). mr: multiplicador de regularización; cc: combinaciones de características. ....	<b>22</b>
<b>Figura 4.</b> Mapas resultantes del modelado de nicho ecológico de <i>Elionurus muticus</i> en el presente. ....	<b>25</b>
<b>Figura 5.</b> Distribución potencial de <i>E. muticus</i> en el futuro según el modelo MCG MIROC6, escenario SSP1-2.6. A. Período 2041-2060. B. Período 2061-2080. C. Período 2081-2100.....	<b>31</b>

<b>Figura 6.</b> Distribución potencial de <i>E. muticus</i> en el futuro según el modelo MCG MIROC6, escenario SSP5-8.5.....	<b>32</b>
<b>Figura 7.</b> Distribución potencial de <i>E. muticus</i> en el futuro según el modelo MCG MRI-ESM2-0, escenario SSP1-2.6. A. ....	<b>33</b>
<b>Figura 8.</b> Distribución potencial de <i>E. muticus</i> en el futuro según el modelo MCG MRI-ESM2-0, escenario SSP5-8.5.....	<b>34</b>

## Índice del Anexo

<b>Tabla 1.</b> Puntos de ocurrencia (coordenadas geográficas) de <i>Elionurus muticus</i> utilizados para los modelados de nicho ecológico .....	<b>48</b>
<b>Tabla 2.</b> Valores óptimos de cada variable bioclimáticas en los MNEs de <i>Elionurus muticus</i> para el Modelo de Circulación Global (MCG) MIROC6 para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) 2.6 (mitigación) y 8.5 (pesimista) durante tres períodos de tiempo (2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100). ....	<b>62</b>
<b>Tabla 3.</b> Valores óptimos de cada variable bioclimática al MNE de <i>Elionurus muticus</i> para el Modelo de Circulación Global (MCG) MRI-ESM2-0 para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) 2.6 (mitigación) y 8.5 (pesimista) durante tres períodos de tiempo (2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100). ....	<b>63</b>
<b>Figura 1.</b> Área de distribución de <i>E. muticus</i> sobre mapa con las 10 clases de uso y cobertura de suelo derivado de las imágenes de ESRI 2020 Global Land Use Land Cover de Sentinel-2 de la ESA . La capa Matorral/ Arbusto se encuentra unificada a la capa Pastizales en los archivos trabajados .....	<b>64</b>
<b>Figura 2.</b> Curvas de respuesta de <i>Elionurus muticus</i> a las variables bioclimáticas y edáficas utilizadas para el MNE presente. ....	<b>68</b>

# Resumen

*Elionurus muticus* es una especie de la familia Poaceae que constituye un valioso recurso renovable, principalmente debido a su potencial como productor de aceites aromáticos, ya que su resina contiene más de 90% de citral, un compuesto con un fuerte aroma cítrico, de fácil cosecha y extracción, motivo por el cual se ha propuesto a esta especie como un sucedáneo de la citronela o una fuente alternativa de extracción de aceite. El citral ha sido usado como materia prima en la industria farmacéutica para sintetizar iononas, una de las cuales se emplea para la síntesis de vitamina A, por lo que la capacidad de producir citral le confiere a esta especie un gran interés para propósitos en la industria aromática, del alimento y de la cosmética.

Es la especie más ampliamente distribuida del género, creciendo tanto en América como en África y Asia. En América se encuentra en Norteamérica en México, y en Sudamérica en Guyanas, Guayana Francesa, Surinam, Perú, Venezuela Brasil, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina. Sin embargo, a pesar de la gran distribución que presenta, de su capacidad de producción en diferentes agroecosistemas, del potencial productivo de sus aceites esenciales y de sus propiedades bioactivas, *E. muticus* aún permanece subexplotada. Además, se carece de información acerca de los requerimientos ecológicos, así como de los factores (naturales y antrópicos) que influyen en la distribución geográfica de esta especie.

Por lo tanto, el objetivo del presente Trabajo Final de Graduación fue analizar la distribución potencial actual y bajo diferentes escenarios futuros de cambio climático de *E. muticus* en Sudamérica, mediante el modelado de nicho ecológico (MNE), como línea de base para proponer estrategias de muestreo a campo, identificar las regiones más adecuadas para su cultivo, así como evaluar el impacto de los diferentes escenarios futuros de cambio climático en la distribución de esta especie.

Se realizó el MNE predictivo de la distribución potencial de *E. muticus* para el tiempo presente como también para el futuro, utilizando variables bioclimáticas y edáficas. Para obtener una estimación más realista del área de distribución de la especie, la distribución potencial actual se ajustó con información sobre la cobertura y uso del suelo. Finalmente, a partir de los modelos logrados, se establecieron las condiciones óptimas en las cuales la especie es capaz de desarrollarse y subsistir.

Los resultados obtenidos permitieron estimar la distribución potencial actual de *E. muticus* en relación con variables climáticas, edáficas, y de uso y cobertura de suelo, y caracterizar los requerimientos ecológicos de *E. muticus* en Sudamérica. De acuerdo a los modelos climáticos y edáficos del presente, las áreas más favorables para *E. muticus* coinciden, en general, con los puntos de ocurrencia de la especie en las ecorregiones del Espinal, Pampa Húmeda, Sabana Inundada del Paraná, sureste del Chaco Seco, Oeste de las Yungas del sur de los Andes, Oeste de la Sabana Uruguaya, Chaco Húmedo, Campos y Malezales, Bosques húmedos de Araucaria, Bosques Costeros de Serra do Mar, Bosque Atlántico del Alto Paraná, el sur del Cerrado, y sur de los Bosques del Interior de Bahía, Yungas Bolivianas y en el Norte de la Cordillera oriental. Tanto las condiciones climáticas,

como el efecto del cambio de uso y de la cobertura del suelo afectaron la distribución potencial de *E. muticus* disminuyendo sus áreas óptimas. Por otra parte, los modelos futuros, en general, no presentaron cambios importantes respecto a los MNE del presente, por lo que las áreas de ocurrencia potencial de la especie se mantendrían estables, sugiriendo que características tales como la capacidad de crecer en ambientes secos y pobres como de restablecimiento permitirían a *E. muticus* contrarrestar los efectos del cambio climático y mantener su área de distribución.



# Introducción

*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze (Andropogoneae Poaceae), es la especie más ampliamente distribuida del género, ocurriendo tanto en América, África y Asia (Tropicos.org. Missouri Botanical Garden, recuperado el 21 de junio de 2022 de <https://www.tropicos.org/>; Zuloaga et al., 2012). Esta especie constituye un valioso recurso renovable (Stuckert, 1904; Guenther, 1950; Tredgold, 1986; Nicola y Rùgolo de Agrasar, 1987; Boose y Holt, 1999; Castro y Ramos, 2003; Cacciabue et al., 2005; Sabini et al., 2006; Dzingirai et al., 2007; Hess et al., 2007; Dzingirai et al., 2007; Füller et al., 2014). Aunque posee un sabor amargo que es transmitido a la leche, con un manejo adecuado, que en general implica el uso del fuego para que las hojas tiernas sean apetecibles, esta especie puede ser utilizada como forrajera para alimentar el ganado (Castro y Ramos, 2003; Hess et al., 2007). Además, se han reportado varios usos en medicina popular, debido a sus propiedades sudoríficas y para reducir la fiebre, las raíces son masticadas para tratar el dolor de dientes, cólicos y para “hacer que los hombres jóvenes sean fuertes”, las partes aéreas brindan un aceite esencial aromático que posee potencial acción analgésica y antibacterial (Tredgold, 1986; Boose y Holt, 1999). Sus espiguillas se han utilizado en infusiones contra la gonorrea y problemas urinarios, así como para la bronquitis crónica de los niños, en forma de jarabe (Stuckert, 1904); también han sido utilizadas para aromatizar la ropa o como antiséptico, y para ahuyentar las polillas (Stuckert, 1904). Con sus hojas se realizan infusiones utilizadas para curar la lepra (Guenther, 1950). Posee actividad antibacterial, antifúngica, citotóxica y antimicrobiana, por lo que se sugirió que podría emplearse como alternativa a los fungicidas sintéticos para su uso en la agroindustria (Cacciabue et al., 2005; Sabini et al., 2006; Dzingirai et al., 2007; Hess et al., 2007; Füller et al., 2014). Se ha propuesto a esta especie como un antioxidante natural y fuente de drogas útiles (Dzingirai et al., 2007). En la provincia de Corrientes se la cultivaba para utilizar la raíz en la fabricación de cepillos para pisos (Nicola y Rùgolo de Agrasar, 1987).

Sumado a todos los posibles usos mencionados, una de las características más interesante de *E. muticus* es su potencial como productor de aceites aromáticos, ya que su resina contiene más de 90% de citral, un compuesto con un fuerte aroma cítrico, de fácil cosecha y extracción (Nicola y Rùgolo de Agrasar, 1987), motivo por el cual se ha propuesto a esta especie como sucedáneo de la citronela o una fuente alternativa de extracción de aceite (Vidal, 1954; Fester et al., 1961; Kolb et al., 2007). El citral ha sido usado como materia prima en la industria farmacéutica para sintetizar iononas, una de las cuales se emplea para la síntesis de vitamina A (Koshima et al., 2006), por lo que la capacidad de producir citral le confiere a esta especie un gran interés para propósitos en la industria aromática, del alimento y de la cosmética (Heydorn et al., 2003; Hess et al., 2007; Kolb et al., 2007).

A pesar de la amplia distribución que presenta, de su capacidad de producción en diferentes agroecosistemas, de sus propiedades bioactivas y del potencial productivo de sus aceites esenciales, *E. muticus* aún permanece subexplotada. Se carece de información acerca de los requerimientos ecológicos, así como de los factores (naturales y antrópicos) que influyen en la distribución geográfica de esta especie, información de utilidad a los efectos de establecer las bases para proponer estrategias de muestreo a campo, identificar las regiones más adecuadas para su cultivo, así como evaluar el

impacto de los diferentes escenarios futuros de cambio climático en la distribución de la especie. En este sentido, los análisis de distribución basados en el modelado de nicho ecológico (MNE) permiten describir la influencia de las condiciones ambientales actuales en la distribución geográfica real y potencial de las especies (Wiens y Graham, 2005; Guisan y Thuiller, 2005; Ellith et al., 2006; Pearson et al., 2007; Mota Vargas et al., 2019). En las especies cultivadas, el MNE se ha utilizado para estudiar el impacto de los cambios climáticos sobre su distribución potencial (Spooner et al., 2010; Jing-Song et al., 2012; Beck, 2013; Lopes et al., 2017) e incluso para comprender cómo los factores antropogénicos junto con los ambientales que influyen en el nicho ecológico realizado de las especies (Kodis et al., 2018). Las predicciones espaciales realizadas a partir de los MNEs permiten incrementar la eficiencia y reducir los esfuerzos y costes del muestreo a campo, mediante la identificación de localidades con altos valores de idoneidad del hábitat y, en base a estas predicciones, orientar estrategias de uso sustentable de los recursos naturales (Guisan et al., 2006).

En este contexto, en el presente Trabajo Final de Graduación se realizó el modelado de la distribución potencial (actual y a futuro) de *E. muticus* en Sudamérica, a fin de generar un modelo predictivo con las áreas más probables de ocurrencia, determinar sus requerimientos ecológicos, contribuir a la comprensión del efecto de los cambios climático-ambientales y uso y cobertura de suelo sobre los patrones de distribución de la especie, así como de establecer las bases para futuras estrategias de muestreo y uso sustentable de la especie.

# Objetivos

## Objetivo general

Analizar la distribución potencial actual y bajo diferentes escenarios futuros de cambio climático de *E. muticus* en Sudamérica mediante el modelado de nicho ecológico.

## Objetivos particulares

- 1) Caracterizar los requerimientos ecológicos de *E. muticus* en Sudamérica.
- 2) Modelar la distribución potencial actual de *E. muticus* en relación con variables climáticas, edáficas, de uso y cobertura de suelo.
- 3) Modelar el impacto de los futuros escenarios de cambio climático sobre la distribución de *E. muticus*.
- 4) Establecer las bases para futuras estrategias de muestreo y definir las mejores áreas para el cultivo de *E. muticus*.

## Hipótesis del Trabajo

H1) La existencia de gradientes de temperatura y humedad, las diferencias en la estacionalidad, así como las características edáficas influyen en la distribución de *E. muticus*.

H2) El cambio de uso y cobertura del suelo afecta la distribución de *E. muticus*.

H3) En el futuro, el cambio climático impactará en la distribución de esta especie.

H4) Los modelos de áreas óptimas de ocurrencia, tanto actual como de escenarios futuros, permitirán establecer las bases para futuras estrategias de muestreo a campo y definir las mejores áreas para el cultivo de *E. muticus*.

# Materiales y Métodos

## Especie estudiada

*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze, es una especie herbácea, cespitosa y perenne (Figura 1; Füller, 2013). En Sudamérica se distribuye en Guyanas, Guayana Francesa, Surinam, Perú, Venezuela Brasil, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina (Tropicos.org. Missouri Botanical Garden, recuperado el 21 de junio de 2022 de <https://www.tropicos.org/>; Zuloaga et al., 2012). En Argentina, donde es conocida con diferentes nombres vulgares como “pasto amargo”, “pasto bravo”, “espartillo”, “espartillo guazú”, se la encuentra en el norte y centro del país, hasta las provincias de La Pampa y Buenos Aires, pudiendo formar extensas poblaciones. Es común en abras de monte del centro oeste de Santa Fe, donde forma praderas, así como en las regiones medanosas y arenosas de la región semiárida pampeana (Coelho, 2018), donde constituye un recurso valioso como fijadora de suelos (Anónimo, 1985). Es, además, una especie dominante de las sabanas de la Mesopotamia argentina y de los aybales del Chaco Semiárido, formando «espartillares» extensos y casi puros que suelen contener leguminosas acompañantes (Parera, 2011; Marino et al., 2013).

La especie alcanza 1 m de altura y posee hojas verde-grisáceas que se enrollan en los extremos en épocas de sequía y se mantienen verdes durante todo el año. Además, presenta rizomas breves y superficiales (Parera, 2011). Es una especie monoica, con espiguillas con flores monoclinas reunidas en un racimo espiciforme terminal de 10-12 cm, solitario, con un solo raquis. Florece entre octubre y diciembre. Sus frutos son cariopses oblongos, oscuros que contienen semillas con el hilio puntiforme (Füller, 2013). Si bien puede propagarse por medio de semillas, la propagación más común es por división de las matas. El período preferencial para plantarlo es entre marzo y noviembre (Coelho, 2018). Sin embargo, en lugares más fríos se planta en marzo-mayo y septiembre-noviembre. Las plantas mantienen una actividad de crecimiento durante todo el año, pero con una reducción en los períodos más fríos. Las plántulas se pueden plantar en hileras con una separación de 0,5 - 0,6 m y se conservan con una separación entre plantas de 0,3 - 0,5 m (Füller, 2013).

Por otra parte, la composición química de los aceites esenciales hallados en *E. muticus* es muy variable. Esta especie fue clasificada en cinco tipos químicos de acuerdo a los mayores componentes presentes en sus aceites esenciales: neral, geranial, acorenona, isoacorenona y 1.8-cineole, la mezcla de los dos primeros da lugar al citral (Kolb et al., 2012). Además de la diversidad química de la especie, también se ha observado gran diversidad morfológica, lo cual resulta en una compleja taxonomía de *E. muticus*, presentando una gran cantidad de sinonimias (Zuloaga et al., 2003).



**Figura 1.** *Elionurus muticus*. A y C, detalle de las matas.

B y D, detalle de

las

inflorescencias. Fotografías tomadas de la página web del Instituto de Botánica Darwinion

(<http://www.darwin.edu.ar/proyectos/floraargentina/fa.htm>)

## **Modelado de Nicho Ecológico**

Se realizó el modelado de nicho ecológico (MNE) predictivo de la distribución potencial de *E. muticus* para el tiempo presente como también para el futuro (ver detalles de cada modelado más abajo). Los rangos de valores de la probabilidad de ocurrencia de *E. muticus* que se han considerado fueron: bajos: 0%- 24%, medio: 24%- 48%, y alto 73%-100%.

Para el presente se realizaron dos MNE: uno utilizando variables bioclimáticas y edáficas, y otro en el que se utilizaron solamente las variables bioclimáticas. Este último MNE fue el utilizado para la extrapolación a los escenarios climáticos futuros.

## **Datos de presencia**

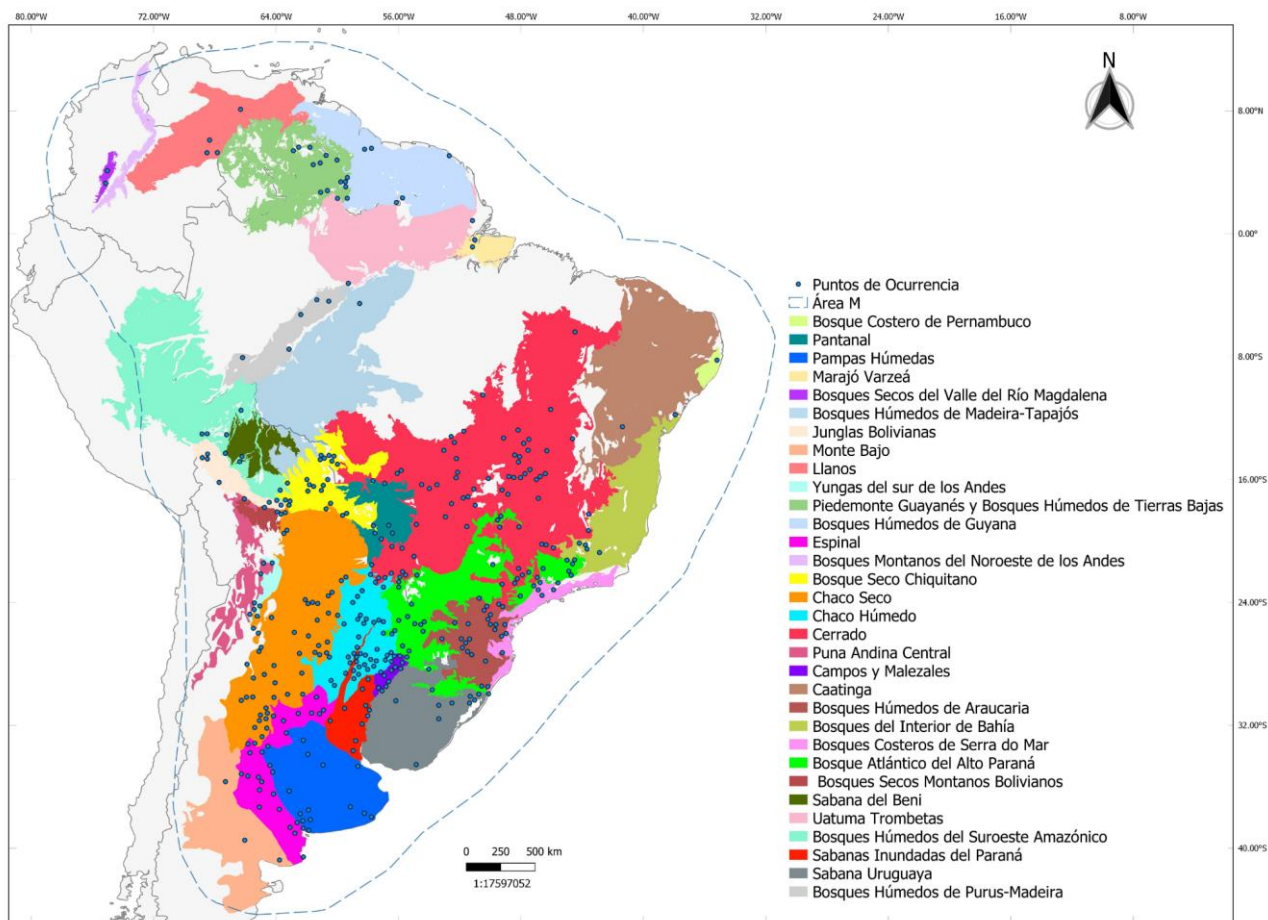
Se obtuvieron 2932 datos de presencia (coordenadas geográficas) de *E. muticus* en todo su rango de distribución en Sudamérica. Los puntos se obtuvieron a partir de ejemplares del herbario del Instituto de Botánica del Nordeste (CTES) (94 registros), así como de las bases de datos Iris (370 registros, recuperado el 19 Mayo de 2022 de <http://www.darwin.edu.ar/iris/>), SpeciesLink (580 registros, recuperado el 20 Mayo 2022 de <https://splink.cria.org.br/>), Global Biodiversity Information Facility – GBIF, (1777 registros, recuperado el 20 Mayo de 2022 de <https://www.gbif.org/es/>) (Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.rcp6sp>) y Tropicos.org. Missouri Botanical Garden (111 registros, recuperado el 21 de junio de 2022 de <https://www.tropicos.org/>). Sólo se utilizaron aquellos puntos de presencia que se correspondían a registros de herbario. Las sinonimias que presenta el taxón fueron incluidas en la búsqueda de puntos de ocurrencia. En el presente trabajo, es tomado como criterio el catálogo de pastos del Nuevo Mundo (Zuloaga et al., 2003), en el cual se reconocen 60 sinónimos para la especie, como así también su basónimo el cual se encuentra incluido en los puntos de ocurrencia tomados de GBIF.

Con la plataforma Wallace (Kass et al., 2017) basada en R Studio ver. 3.3.1 (R Core Team, 2014) se eliminaron los puntos de ocurrencia duplicados y aquellos con una distancia de separación menor a 30 km. Esto permitió evitar la sobreestimación de los modelos por el efecto de la autocorrelación espacial (Peterson y Nakazawa, 2008). Los datos de ocurrencia se separaron en dos conjuntos, teniendo en consideración las sugerencias de Philips et al. (2006), uno de ellos se empleó para la calibración del modelo (70 % de los puntos) y el otro para la evaluación del modelo (30 % de los puntos). Finalizando el proceso de filtrado de registros de presencia, se obtuvo una base de datos de 391 puntos para *E. muticus* (Figura 2), cuyas coordenadas geográficas se detallan en la Tabla 1 del Anexo.

## **Delimitación del área M**

El área de modelado espacial (área M) es el espacio geográfico y ambiental donde se ha registrado la presencia de una especie y es delimitada de acuerdo con el conocimiento de la biología de cada especie y de su capacidad de dispersión (Silva et al., 2004; Perroni-Ventura et al., 2006; Bertuzzi et al., 2012; Cerino et al., 2015; Franco y Camps, 2020). Para delimitar esta área se utilizaron los registros de presencia de *E. muticus* en Sudamérica; además, se creó una región *buffer* de

aproximadamente 300 km. El área M se extendió entre -69,43, 11.33 N; -65.28, -44,51 S; -78.98, 4,77 O; -31.44, -6.91 E, comprendió 19.636.747,99 km<sup>2</sup> (Figura 2) y fue utilizada para recortar las capas ambientales.



**Figura 2.** Ecorregiones de Sudamérica (definidas según Olson et al., 2001) en las que se encuentra *E. muticus*, y los puntos de ocurrencia analizados de *E. muticus*. En línea punteada se indica el área M.

### **Datos bioclimáticos**

Se obtuvieron los datos de las 19 variables bioclimáticas disponibles en la base WorldClim Global Climate GIS ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) (Hijmans et al., 2005; Fick y Hijmans, 2017) (Tabla 1) a una resolución espacial de 2,5 arc-min (~5 km) y en formato GeoTiff (Tiff). Las capas de datos fueron procesadas para ser convertidas a un formato ASCII, compatible con MaxEnt. Estas variables representan las tendencias bioclimáticas anuales, por ejemplo, la temperatura media anual y la precipitación anual; la estacionalidad, el rango anual de la temperatura y la precipitación; y los factores ambientales extremos o limitantes, por ejemplo, la temperatura del mes más frío y más cálido, y la precipitación de los trimestres húmedos y secos. Con el fin de eliminar las variables altamente correlacionadas se realizó un análisis de componentes principales y un análisis de correlación de Pearson, con un umbral de 0,7, a partir de cuyos resultados se generó un subconjunto de las variables. Estos análisis estadísticos se llevaron a cabo en RStudio ver. 3.3.1 (paquetes `sp`, `raster`, `dismo`, `rgdal`, `XML`, `maps`, `rJava`, `shiny`,

wallace, sdm, vegan, raster, leaflet. Las variables no correlacionadas seleccionadas para la construcción de los modelos de *E. muticus*, fueron Bio 5, Bio 6, Bio 14, Bio 15, Bio 17, Bio 18 y Bio 19, y se detallan en la Tabla 1.

### **Variables edáficas**

Las variables edáficas fueron descargadas de la base ISRIC—World Soil Information database (Hengl et al., 2014; 2017; <http://soilgrids1km.isric.org>) (Tabla 2) a una resolución de 250 m, y fueron transformadas a una resolución de 2,5 arc-min (~5 km) utilizando GIS 3.4.2 (QGIS Development Team, <http://www.qgis.org/>). Para la selección de las variables edáficas se realizó el mismo procedimiento que para las variables bioclimáticas, realizando un análisis de correlación de Pearson entre ellas, con un umbral de 0,7 y un análisis de componentes principales. Las variables no correlacionadas seleccionadas para la construcción de los modelos de *E. muticus*, fueron (BLDFIE\_M\_sl3\_250m\_II, CRFVOL\_M\_sl3\_250m\_II\*, Nitrógeno total (N) sl3, ORCDRC\_M\_sl3\_250m\_II, PHIHOX\_M\_sl3\_250m\_II, SLGWRB\_250m\_II, SLTPPT\_M\_sl3\_250m\_II y WWP\_M\_sl3\_250m\_II, y se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 1.** Código, descripción y unidad de medida de cada variable bioclimática obtenida de la base WorldClim Global Climate GIS. Con un asterisco se identifican las variables bioclimáticas no correlacionadas utilizadas para la construcción de los modelos de nicho ecológico.

<b>Código de la variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
Bio 1	Temperatura anual media	°C
Bio 2	Rango medio diurno (Media mensual (temperatura máxima-temperatura mínima)	°C
Bio 3	Isotermalidad (Bio 2/ Bio 7) x (100)	°C
Bio 4	Rango medio diurno (Media mensual (temperatura máxima-temperatura mínima)	°C
Bio 5*	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
Bio 6*	Temperatura mínima del mes más frío	°C
Bio 7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	°C
Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C
Bio 9	Temperatura media del trimestre más cálido	°C
Bio 10	Temperatura media del trimestre más cálido	°C
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío	°C
Bio 12	Precipitación anual	mm
Bio 13	Precipitación del mes más húmedo	mm
Bio 14*	Precipitación del mes más seco	mm
Bio 15*	Estacionalidad en las precipitaciones (Coeficiente de variación)	mm
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo	mm
Bio 17*	Precipitación del cuatrimestre más seco	mm
Bio 18*	Precipitación del mes más cálido	mm
Bio 19*	Precipitación del cuatrimestre más frío	mm



**Tabla 2.** Código, descripción y unidad de medida de cada variable edáfica obtenida de la base de datos ISRIC—World Soil Information. Con un asterisco se identifican a las variables edáficas no correlacionadas utilizadas para la construcción de los modelos de nicho ecológico.

Código de la variable	Descripción	Unidad
BLDFIE_M_sl3_250m_II*	Densidad aparente (tierra fina)	kg/m <sup>3</sup>
CECSOL_M_sl3_250m_II	Capacidad de intercambio catiónico del suelo	cmolc/kg
CLYPPT_M_sl3_250m_II	Porcentaje en peso de las partículas de arcilla (<0,0002 mm)	porcentaje
CRFVOL_M_sl3_250m_II*	Porcentaje volumétrico de fragmentos gruesos (>2 mm)	porcentaje
Nitrógeno total (N) sl3*	Suma de nitrógeno Kjeldahl total (amoníaco, nitrógeno orgánico y reducido) y nitrato-nitrito	g/kg
ORCDRC_M_sl3_250m_II*	Contenido de carbono orgánico del suelo	permille
PHIHOX_M_sl3_250m_II*	Índice de pH medido en solución acuosa	pH
SLGWRB_250m_II*	Grado de suelo sódico	grado
SLTPPT_M_sl3_250m_II*	Porcentaje en peso de las partículas de limo (0,0002-0,05 mm)	porcentaje
SNDPPT_M_sl3_250m_II	Porcentaje en peso de las partículas de arena (0,05-2 mm)	porcentaje
WWP_M_sl3_250m_II*	Capacidad de agua disponible en el suelo (fracción volumétrica) hasta el punto de marchitamiento	porcentaje

### **Modelado de la distribución potencial actual**

Para evaluar la distribución potencial actual de *E. muticus* se realizó el MNE utilizando el enfoque de máxima entropía implementado en MaxEnt v3.4.4 (Phillips et al., 2006, 2017, [www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/](http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/)). MaxEnt implementa un algoritmo que estima la distribución de máxima entropía de las especies sujeta a la restricción de que el valor esperado de cada función del ambiente bajo esta distribución estimada es igual al esperado de la función bajo la distribución empírica (Phillips et al., 2006). Los parámetros utilizados para ejecutar MaxEnt se calibraron utilizando la plataforma Wallace (Kass et al., 2017) basada en R Studio (ver. 3.3.1; R Core Team, 2014). Se seleccionaron los tres mejores modelos en función de los valores más bajos del criterio de información de Akaike corregido (AICc). Se seleccionó un único conjunto de parámetros para los modelados tanto del presente como del futuro tomando como criterio de elección el valor AICc más bajo (cercano a 0) los cuales se identificaron como óptimos entre los parámetros candidatos. Además de utilizar estos parámetros, MaxEnt se ejecutó utilizando multiplicador de regularización 1 para el modelado del presente y futuro de *E. muticus*. Se realizaron 10 réplicas, con 1000 iteraciones máximas, 10000 puntos

máximos de background, y con formato de salida CogLog. Con estos ajustes en MaxEnt se obtuvieron los modelos finales transformando a los mapas probabilísticos en mapas binarios (presencia 0 - ausencia 1) empleando un valor umbral correspondiente a la presencia mínima de entrenamiento, que incluye el 90% del total de registros utilizados para calibrar el modelo (el cuál fue proporcionado por MaxEnt). Para la visualización de todas las predicciones y edición de las figuras se utilizó Quantum GIS 3.4.2 (QGIS Development Team, <http://www.qgis.org/>).

## **Uso y cobertura del suelo**

Con el fin de obtener una estimación más realista del área de distribución de *E. muticus* y analizar el impacto del uso de la tierra, se ajustó el mapa de distribución potencial actual (inferido a partir de los datos bioclimáticos y de las variables edáficas) a la información de cobertura y uso del suelo. Para esto se utilizó un mapa de uso y cobertura de suelo derivado de las imágenes de ESRI 2020 Global Land Use Land Cover de Sentinel-2 de la ESA (Figura 1 del Anexo). El mismo consiste en predicciones de uso y cobertura del suelo para 10 clases a lo largo del año 2021 (Tabla 3; ESRI 2020 Global Land Use Land Cover; Karra et al., 2021; <https://www.arcgis.com/apps/instant/media/index.html?appid=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>).

Del total de clases, se excluyeron del análisis aquellas donde la distribución de *E. muticus* resulta improbable como ser el agua, vegetación inundada, cultivos, área construida, suelo desnudo y nieve/hielo.

**Tabla 3.** Clasificación y descripción de las diez clases de uso y cobertura de suelo, con asterisco se indican las clases utilizadas luego de eliminar aquellas donde la distribución de *Elionurus muticus* resulta improbable.

Clases	Definiciones de clase
Agua	Zonas en las que el agua ha estado presente de forma predominante a lo largo del año; puede no abarcar zonas con agua esporádica o efímera; contiene poca o ninguna vegetación dispersa, no hay afloramiento de rocas ni elementos construidos como muelles; ejemplos: ríos, estanques, lagos, océanos, llanuras salinas inundadas.
Árboles*	Cualquier agrupación significativa de vegetación densa y alta (~15 m o más), normalmente con un dosel cerrado o denso; ejemplos: vegetación boscosa, agrupaciones de vegetación alta y densa dentro de sabanas, plantaciones, pantanos o manglares (vegetación densa/alta con agua efímera o dosel demasiado grueso para detectar el agua debajo).
Vegetación inundada	Zonas de cualquier tipo de vegetación con evidente mezcla de agua durante la mayor parte del año; zona estacionalmente inundada que es una mezcla de hierba /arbustos /árboles /suelo desnudo; ejemplos: manglares inundados, vegetación emergente, arrozales y otras agriculturas muy regadas e inundadas
Cultivos	Cereales plantados /parcelados por el hombre, hierbas y cultivos que no están a la altura de los árboles; ejemplos: maíz, trigo, soja, parcelas de tierra estructurada en barbecho.
Área construida	Estructuras hechas por el hombre; grandes redes de carreteras y ferrocarriles; grandes superficies impermeables homogéneas, incluyendo estructuras de aparcamiento, edificios de oficinas y viviendas; ejemplos: casas, pueblos / ciudades densas, carreteras pavimentadas, asfalto.
Suelo desnudo	Áreas de roca o suelo con vegetación muy escasa o nula durante todo el año; grandes áreas de arena y desiertos sin o con poca vegetación; ejemplos: roca o suelo expuestos, desierto y dunas de arena, salinas secas, lechos de lagos secos, minas.
Nieve/hielo	Grandes áreas homogéneas de nieve o hielo permanente, normalmente sólo en zonas de montaña o en latitudes más altas; ejemplos: glaciares, manto de nieve permanente, campos de nieve.
Nubes	No hay información sobre la cubierta terrestre debido a la persistencia de la nubosidad.
Pastizales*	Zonas abiertas cubiertas de hierbas homogéneas con poca o ninguna vegetación más alta; cereales y hierbas silvestres sin trazado humano obvio (es decir, no es un campo trazado); ejemplos: praderas y campos naturales con cubierta de árboles escasa o nula, sabana abierta con pocos o ningún árbol, parques /campos de golf /céspedes, pastos. Mezcla de pequeños grupos de plantas o plantas individuales dispersas en un paisaje que muestra suelo o roca expuestos; claros llenos de matorrales dentro de bosques densos que claramente no son más altos que los árboles; ejemplos: cobertura moderada a escasa de arbustos, arbustos y mechones de hierba, sabanas con hierbas, árboles u otras plantas muy escasas.

### **Modelado del impacto de escenarios futuros de cambio climático**

Para predecir el impacto de posibles escenarios de cambio climático en la distribución de *E. muticus* se utilizaron dos modelos de circulación global (MCG) MIROC6 y MRI-ESM2-0 para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP por sus siglas en inglés) 2.6 (mitigación) y 8.5 (pesimista), y tres períodos de tiempo (2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100). Para generar los modelos

se utilizaron los parámetros del modelo climático de distribución actual con el mejor ajuste estadístico y realizado únicamente con las variables bioclimáticas. Los datos para el futuro consistieron de interpolaciones climáticas globales bajo distintos escenarios del IPPC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) que asumen diferentes incrementos de gases de efecto invernadero. Las capas climáticas de los escenarios futuros fueron extraídas de WorldClim v.2.0 con la misma resolución y formato que los datos para el presente. Para la visualización de todas las predicciones y edición de las figuras se utilizó Quantum GIS 3.4.2.

## **Evaluación de los modelos**

Una vez obtenidos los modelos, fue necesario realizar una evaluación de su desempeño para determinar su calidad, esto se logró mediante la validación cruzada de 10 réplicas arrojadas por MaxEnt (Mota Vargas et al., 2019). La estrategia de validación utilizada fueron los valores del área bajo la curva (AUC) derivados de las curvas de la “Característica Operativa del Receptor” (ROC). El AUC proporciona una medida del rendimiento del modelo, adoptando valores que oscilan entre cero y uno, donde una puntuación de uno indica una discriminación perfecta (Phillips et al., 2006). El cálculo del área bajo la curva ROC (AUC) se compara contra una probabilidad de ocurrencia nula (Swets, 1988). Así, los valores entre 0,7 y 0,9 tienen una aplicación útil en el modelo y los valores mayores a 0,9 tienen una alta confianza; por otro lado, valores por debajo de 0,5 revelan un rendimiento peor que el aleatorio (Elith et al., 2006).

La curva ROC describe la relación entre dos características del rendimiento del modelo: la proporción de presencias observadas predichas correctamente (sensibilidad) y la proporción de ausencias verdaderas en relación con el número total de ausencias predichas por el modelo (especificidad). 1-especificidad, es una medida del grado en que las áreas predichas superan la presencia observada (Phillips et al., 2006, Costa et al., 2014). Es así como la curva ROC muestra el grado de ajuste de un modelo mediante una gráfica con los valores de Sensibilidad contra 1-especificidad, en donde el AUC oscila de 0,5, para los modelos que no son mejores que el azar, a 1,0 para los modelos con una capacidad de predicción perfecta. Este valor puede interpretarse como qué tan probable es que un modelo distinga correctamente un registro de presencia de uno de ausencia, si cada registro se selecciona al azar del conjunto de presencias y ausencias (Pearson, 2010; Phillips et al., 2006). De esta forma se realizó la evaluación de los puntos de ocurrencia de prueba (que representan el 30%) del total, comprobando si estos caían en áreas en las que se predecía que estos estuvieran presentes en una proporción mayor de lo esperado por azar.

## **Requerimientos ecológicos**

A partir de los gráficos de comportamiento de las variables arrojados por MaxEnt utilizando el test de Jackknife (Phillips et al., 2006) se determinó el peso de cada una de las variables ambientales usadas en los modelos de distribución presente y futura generados, identificando las condiciones óptimas en las cuales la especie es capaz de desarrollarse y subsistir.

# Resultados

## Modelado de Nicho Ecológico

### Datos de presencia

Desde un punto de vista ecorregional, los registros de presencia de *E. muticus* analizados se extendieron por diversas ecorregiones (**Figura 2**), estando más representada en las siguientes: Bosques Secos Chiquitano, Chaco Seco, Chaco Húmedo, Espinal, Pampas Húmedas, Sabanas Inundadas del Paraná, Campos y Malezas, Sabana Uruguaya, Bosques Atlánticos del Alto Paraná, Bosques Húmedos de Araucarias, y en la ecorregión del Cerrado. Aunque con menor presencia, también se han encontrado registros de *E. muticus* en las ecorregiones: Bosques del Interior de Bahía, Yungas Bolivianas, Cordillera oriental, Llanos de Mojos, Bosques Secos Montañosos Bolivianos, Caatinga, Puna Andina Central, Bosque Seco Chiquitano, Bosques Montanos de la Cordillera Oriental, Bosques Húmedos de Guayana, Llanos, Monte Bajo, Bosques Húmedos de Madeira-Tapajós, Bosques Secos del Valle de Magdalena, Marajó Varzeá, Pantanal, Bosques Costeros de Pernambuco, Bosque Húmedo de Purus-Madeira, Selvas Húmedas del Sudoeste Amazónico, y Bosques Húmedos de Uatuma-Trombetas (ecorregiones definidas según Olson et al., 2001).

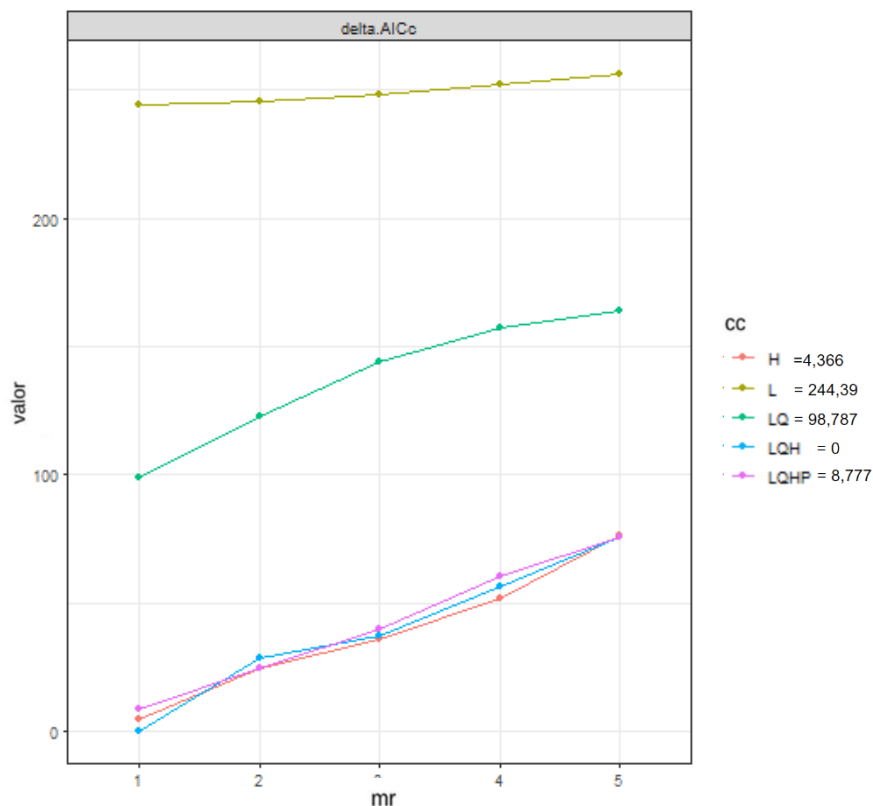
### Variables bioclimáticas y edáficas

Luego de realizar la selección de las variables bioclimáticas a utilizar mediante el análisis de componentes principales y un análisis de correlación de Pearson, siete variables bioclimáticas, que explicaron el 86,6% de la variabilidad observada, fueron empleadas para los MNE. Los mismos análisis fueron realizados con las variables edáficas, resultando en ocho variables que explicaron el 92,74% de la variabilidad observada (ver Tablas 1 y 2 para la descripción de las variables).

## Modelado de la distribución potencial actual

Como resultado del análisis de Delta AICc (Figura 3), las tres mejores combinaciones de parámetros para ejecutar MaxEnt fueron: H (*hinge*), LQHP (*linear-quadratic-hinge-product*) y LQH (*linear-quadratic-hinge*). Quedando exentas del análisis las combinaciones L (*linear*) y LQ (*linear-quadratic*) debido a que sus valores de Delta AICc fueron los más lejanos a cero. Finalmente, el conjunto de parámetros seleccionado para los modelos fue LQH, el cual adoptó un valor de 0 para el análisis de Delta AICc. Este fue utilizado tanto para los MNE del presente, como del futuro.

Las métricas de validación del mejor conjunto de parámetros para los modelos del presente arrojados por Wallace basados en datos bioclimáticos, y bioclimáticos junto con los datos edáficos, para *E. muticus* se resumen en la Tabla 4. La contribución de las variables bioclimáticas al modelo del presente se muestra en la Tabla 5. Por otra parte, la contribución de cada una de las variables seleccionadas para el modelo del tiempo presente que incluye variables bioclimáticas y edáficas de *E. muticus* se resume en la Tabla 6.



**Figura 3.** Parámetros seleccionados para los MNEs a partir del Delta AICc obtenido de la plataforma Wallace. Los valores de cada parámetro se indican a continuación de su correspondiente sigla: H (*hinge*), L (*linear*), LQ (*linear-quadratic*), LQH (*linear-quadratic-hinge*) y LQHP (*linear-quadratic-hinge-product*). mr: multiplicador de regularización; cc: combinaciones de características.

**Tabla 4.** Métricas de validación: umbral de corte y AUC promedio del mejor conjunto de parámetros para los modelos del presente basados en las variables bioclimáticas, y bioclimáticas y edáficas, de *Elionurus muticus*.

Variables ambientales utilizadas	Mejor conjunto de parámetros	Métricas de validación	
		Umbral 10%	AUC Promedio
Bioclimáticas	LQH	0,28	0,82
Bioclimáticas y edáficas	LQH	0,28	0,86

**Tabla 5.** Porcentaje de contribución de variables bioclimáticas seleccionadas al MNE del presente de *Elionurus muticus*.

Variable	Porcentaje de contribución (%)
<b>BIO 6:</b> Temperatura mínima del mes más frío (°C)	55,1
<b>BIO 18:</b> Precipitación del mes más cálido (mm)	24
<b>BIO 14:</b> Precipitación del mes más seco (mm)	9,5
<b>BIO 5:</b> Temperatura máxima del mes más cálido (°C)	6,9
<b>BIO 15:</b> Estacionalidad en las precipitaciones (Coeficiente de variación) (mm)	2,1
<b>BIO 19:</b> Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	1,8
<b>BIO 17:</b> Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0,6

**Tabla 6.** Contribución de las variables bioclimáticas y edáficas al MNE del presente de *Elionurus muticus*.

Variable	Porcentaje de contribución
<b>BIO 6:</b> Temperatura mínima del mes más frío (°C)	27,4
<b>BIO 18:</b> Precipitación del mes más cálido (mm)	19,4
<b>PHIHOX:</b> Índice de pH medido en solución acuosa (pH)	19
<b>NITRÓGENO:</b> Suma de nitrógeno Kjeldahl total (amoníaco, nitrógeno orgánico y reducido) y nitrato-nitrito (g/kg)	7,8
<b>BIO 14:</b> Precipitación del mes más seco (mm)	7,8
<b>BIO 5:</b> Temperatura máxima del mes más cálido (°C)	7,4
<b>WWP:</b> Capacidad de agua disponible en el suelo (fracción volumétrica) hasta el punto de marchitamiento (%)	2,1
<b>SLGWRB:</b> Grado de suelo sódico (grado)	2
<b>SLTPPT:</b> Porcentaje en peso de las partículas de limo (0,0002-0,05 mm) (%)	2
<b>BLDFIE:</b> Densidad aparente (tierra fina) (kg/m <sup>3</sup> )	1,8
<b>BIO 15:</b> Estacionalidad en las precipitaciones (Coeficiente de variación) (mm)	1,2
<b>BIO 19:</b> Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	0,7
<b>ORCDR:</b> Contenido de carbono orgánico del suelo (permille)	0,6
<b>BIO 17:</b> Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0,4
<b>CRFVOL:</b> Porcentaje volumétrico de fragmentos gruesos (>2 mm) (%)	0,3

La variable con mayor porcentaje de contribución al modelo presente basado sólo en datos bioclimáticos fue la temperatura mínima del mes más frío (BIO 6: 55,1%), seguida de la precipitación del mes más cálido (BIO 18: 24%) (Tabla 5). Al añadir variables edáficas, la temperatura mínima del mes más

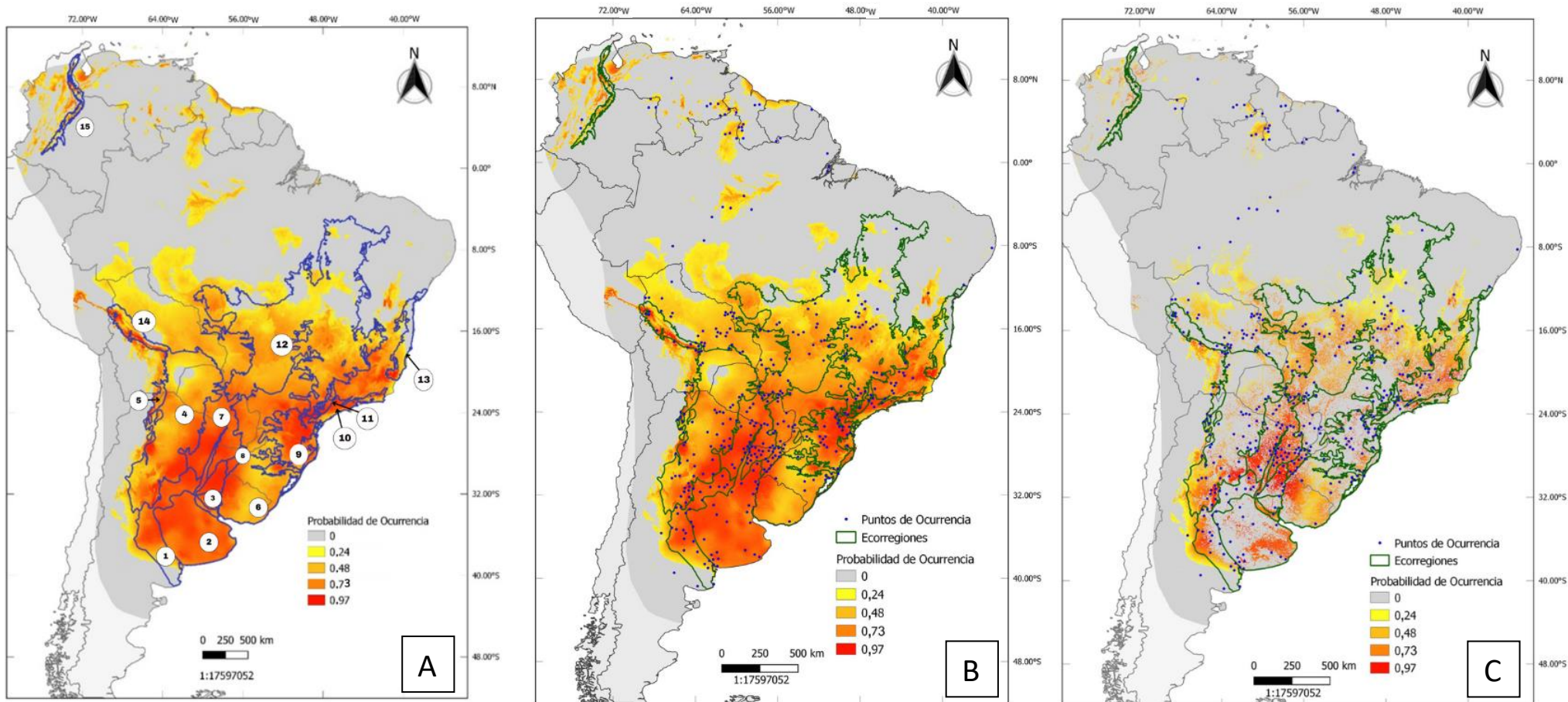
frío continuó siendo la variable con mayor contribución al modelo (BIO 6: 27,4%), seguida de la precipitación del mes más cálido (BIO 18: 19,4%) y del pH (19%) (Tabla 6).

Los resultados del modelado del presente basado en datos bioclimáticos muestran que las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia para *E. muticus* coinciden con los puntos de ocurrencia de la especie (Figura 4 A). Por otra parte, dichas áreas se mantuvieron constantes cuando las variables edáficas fueron incluidas en el MNE (Figura 4 B). La mayor probabilidad de ocurrencia de la especie abarcó las ecorregiones del Espinal, Pampas Húmedas, Sabana inundada del Paraná, sureste del Chaco Seco, Oeste de las Yungas del sur de los Andes, Oeste de la Sabana Uruguaya, Chaco Húmedo, Campos y Malezales, Bosques húmedos de Araucaria, Bosques Costeros de Serra do Mar, Bosque Atlántico del Alto Paraná, el sur del Cerrado, sur de los Bosques del Interior de Bahía, Yungas Bolivianas y en el Norte de la Bosques Montanos de la Cordillera Oriental (Figura 4 A).

### **Uso y cobertura de suelo**

Al incorporar las capas de cobertura y uso de suelo al MNE realizado con variables bioclimáticas y edáficas, el área de mayor probabilidad de ocurrencia predicha disminuye notoriamente, especialmente en las ecorregiones Pampa Húmeda, Bosques húmedos de Araucaria, Bosques costeros, Bosque Atlántico del Alto Paraná y Sabana Inundada del Paraná, quedando restringida al Noroeste de la ecorregión de la Sabana Uruguaya, el Chaco Húmedo, Campos y Malezales, el Norte de la Sabana inundada del Paraná, Suroeste del Espinal, y sureste de las Pampas Húmedas principalmente (Figura 4 C).





**Figura 4.** Mapas resultantes del modelado de nicho ecológico de *Elionurus muticus* en el presente. **A.** MNE basado en variables bioclimáticas; Las ecorregiones en las cuales existe la máxima probabilidad de ocurrencia de la especie se indican con números: 1. Espinal, 2. Pampas Húmedas, 3. Sabana inundada del Paraná, 4. Chaco Seco, 5. Yungas del sur de los Andes, 6. Sabana Uruguaya, 7. Chaco Húmedo, 8. Campos y Malezales, 9. Bosques húmedos de Araucarias, 10. Bosques Costeros de Serra do Mar, 11. Bosques Atlánticos del Alto Paraná, 12. Cerrado, 13 Bosques del Interior de Bahía, 14. Yungas Bolivianas, 15. Bosques Montanos de la Cordillera Oriental (ecorregiones definidas según Olson et al., 2001). **B.** MNE basado en variables bioclimáticas y edáficas. **C.** MNE basado en variables bioclimáticas y edáficas en combinación con el uso y cobertura de suelo.

## **Modelado del impacto de escenarios futuros de cambio climático**

Un total de doce combinaciones de diferentes escenarios se testaron para predecir los cambios en la distribución futura de *E. muticus* (Figuras 5 a 8). En ninguno de los modelos obtenidos se observaron diferencias importantes respecto a los MNEs del presente obtenidos únicamente con variables bioclimáticas. La temperatura mínima del mes más frío (BIO 6) fue también la variable con mayor contribución a los modelos, seguida de la precipitación del mes más cálido (BIO 18) y de la precipitación del mes más seco (BIO 14) (Tabla 7). Las métricas de validación del conjunto de parámetros LQH (valores del Umbral de corte, AUC promedio) junto con el porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas para cada combinación de los diferentes escenarios para el futuro se resumen en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Valores del Umbral de corte, AUC promedio y porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas al MNE de *Elionurus muticus* para los dos Modelos de Circulación Global (MCG) utilizados: MIROC6 y MRI-ESM2-0 para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) 2.6 (mitigación) y 8.5 (pesimista) durante tres períodos de tiempo (2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100). BIO 6: Temperatura mínima del mes más frío (°C). BIO 18: Precipitación del mes más cálido (mm). BIO 14: Precipitación del mes más seco (mm). BIO 5: Temperatura máxima del mes más cálido (°C). BIO 15: Estacionalidad en las precipitaciones (Coeficiente de variación) (mm). BIO 19: Precipitación del cuatrimestre más frío (mm). BIO 17: Precipitación del cuatrimestre más seco (mm).

Modelos de Circulación Global (MCG)	Trayectorias socio económicas	Periodo de tiempo	Umbral 10%	Contribución de variables bioclimáticas (%)		AUC Promedio (%)
				Variable	Porcentaje de Contribución	
		2041-2060	0,27	BIO 6	59,90	0,81
				BIO 18	21,30	
				BIO 14	7,70	
				BIO 5	5,70	
				BIO 19	2,40	
				BIO 15	2,00	
	SSP2.6 (MITIGACIÓN)	2061-2080	0,27	BIO 6	60,30	0,82
				BIO 18	19,40	
				BIO 14	10,60	
				BIO 5	5,50	

Continuación Tabla 7.

<b>MIROC 6</b>				BIO 15	2,00			
				BIO 17	1,20			
				BIO 19	1,00			
		2081-2100	0,30			BIO 6	57,60	0,82
						BIO 18	19,90	
						BIO 14	10,20	
						BIO 5	7,50	
						BIO 15	2,00	
						BIO 19	1,80	
	BIO 17					1		
	2041-2060	0,30			BIO 6	54,8	0,81	
					BIO 18	21,9		
					BIO 14	10,5		
					BIO 5	6,5		
					BIO 15	3,6		
					BIO 19	2,1		
					BIO 17	0,7		
	2061-2080	0,31			BIO 6	56,40	0,82	
					BIO 18	20,90		
					BIO 14	10,00		
					BIO 5	6,80		
					BIO 19	2,70		
					BIO 15	2,40		
					BIO 17	0,70		
	2081-2100	0,27			BIO 6	59,00	0,81	
					BIO 18	15,60		
					BIO 14	12,20		
BIO 5					2,50			
BIO 19					2,50			
BIO 15					2,20			
BIO 17					0,80			
<b>SSP8.5 (PESIMISTA)</b>				BIO 6	54,8	0,81		
				BIO 18	21,9			
				BIO 14	10,5			
		2041-2060	0,30			BIO 5	6,5	0,82
						BIO 15	3,6	
						BIO 19	2,1	
						BIO 17	0,7	
						BIO 6	56,40	
						BIO 18	20,90	
	BIO 14					10,00		
	2061-2080	0,31			BIO 5	6,80	0,82	
					BIO 19	2,70		
					BIO 15	2,40		
					BIO 17	0,70		
					BIO 6	56,40		
					BIO 18	20,90		
					BIO 14	10,00		
	2081-2100	0,31			BIO 5	6,80	0,82	
					BIO 19	2,70		
					BIO 15	2,40		
					BIO 17	0,70		
					BIO 6	56,40		
					BIO 18	20,90		
					BIO 14	10,00		
	2041-2060	0,30			BIO 5	6,5	0,81	
					BIO 15	3,6		
					BIO 19	2,1		
BIO 17					0,7			
BIO 6					54,8			
BIO 18					21,9			
BIO 14					10,5			
2081-2100	0,30			BIO 5	6,5	0,81		
				BIO 15	3,6			
				BIO 19	2,1			
				BIO 17	0,7			
				BIO 6	54,8			
				BIO 18	21,9			
				BIO 14	10,5			

Continuación Tabla 7.

<b>ESMR 2</b>	<b>Ssp2.6</b> (MITIGACIÓN)	2041-2060	0,30	BIO 6	57,60	0,81
				BIO 18	20,00	
				BIO 14	10,80	
				BIO 5	6,50	
				BIO 15	3,20	
				BIO 19	1,30	
				BIO 17	0,70	
		2061-2080	0,29	BIO 6	59,00	0,81
				BIO 18	20,50	
				BIO 14	9,10	
				BIO 5	6,60	
				BIO 19	1,90	
				BIO 17	1,80	
				BIO 15	1,20	
		2081-2100	0,31	BIO 6	58,00	0,81
				BIO 18	21,20	
				BIO 14	9,90	
				BIO 5	7,30	
				BIO 15	1,40	
				BIO 19	1,30	
BIO 17				0,90		
<b>Ssp8.5</b> (PESIMISTA)	2041-2060	0,31	BIO 6	60,50	0,81	
			BIO 18	19,40		
			BIO 14	8,00		
			BIO 5	6,50		
			BIO 15	2,30		
			BIO 17	1,90		
			BIO 19	1,60		
	2061-2080	0,29	BIO 6	57,10	0,82	
			BIO 18	20,30		
			BIO 14	12,20		
			BIO 5	6,70		
			BIO 15	2,20		

Continuación Tabla 7.

		2081-2100	0,29	BIO 19	0,80	0,82
				BIO 17	0,80	
				BIO 6	55,10	
				BIO 18	21,20	
				BIO 14	11,10	
				BIO 5	7,40	
				BIO 15	2,40	
				BIO 19	1,90	
				BIO 17	0,90	

El área de probabilidad de ocurrencia de *E. muticus* para el futuro se mantiene en general estable y similar al modelo del presente. En los modelos de circulación MIROC6 en el escenario SSP1-2.6 proyectado a futuro, el área de distribución potencial, en general, se mantiene estable, salvo por una porción de baja probabilidad de ocurrencia (24%) al norte de la región de Yungas Bolivianas la cual se retrae y fragmenta en dos porciones con baja probabilidad de ocurrencia (24%) en los periodos de 2061-2080 (Figura 5 B) y de 2081-2100 (Figura 5 C). En el escenario SSP5-8.5 (Figura 6) de este modelo (MIROC6) no se aprecian grandes cambios en el área potencial de distribución de *E. muticus*, sin embargo, en el centro y en el Sur de la ecorregión de la Sabana Uruguaya se generan 2 pequeñas disrupciones en el período 2041-2060 (Figura 6 A). Para el periodo de tiempo de 2061-2080 de este modelo (Figura 6 B) el área de distribución potencial, en general, se mantiene estable, salvo por una porción de baja probabilidad de ocurrencia (24%) al norte de la región de Yungas Bolivianas la cual se retrae y fragmenta en dos porciones con baja probabilidad de ocurrencia (24%). Además, conforme avanza el tiempo, el área de probabilidad de ocurrencia de esta especie en el Suroeste del total de su distribución potencial se expande leve y progresivamente hacia el Oeste (Figura 6 B y C).

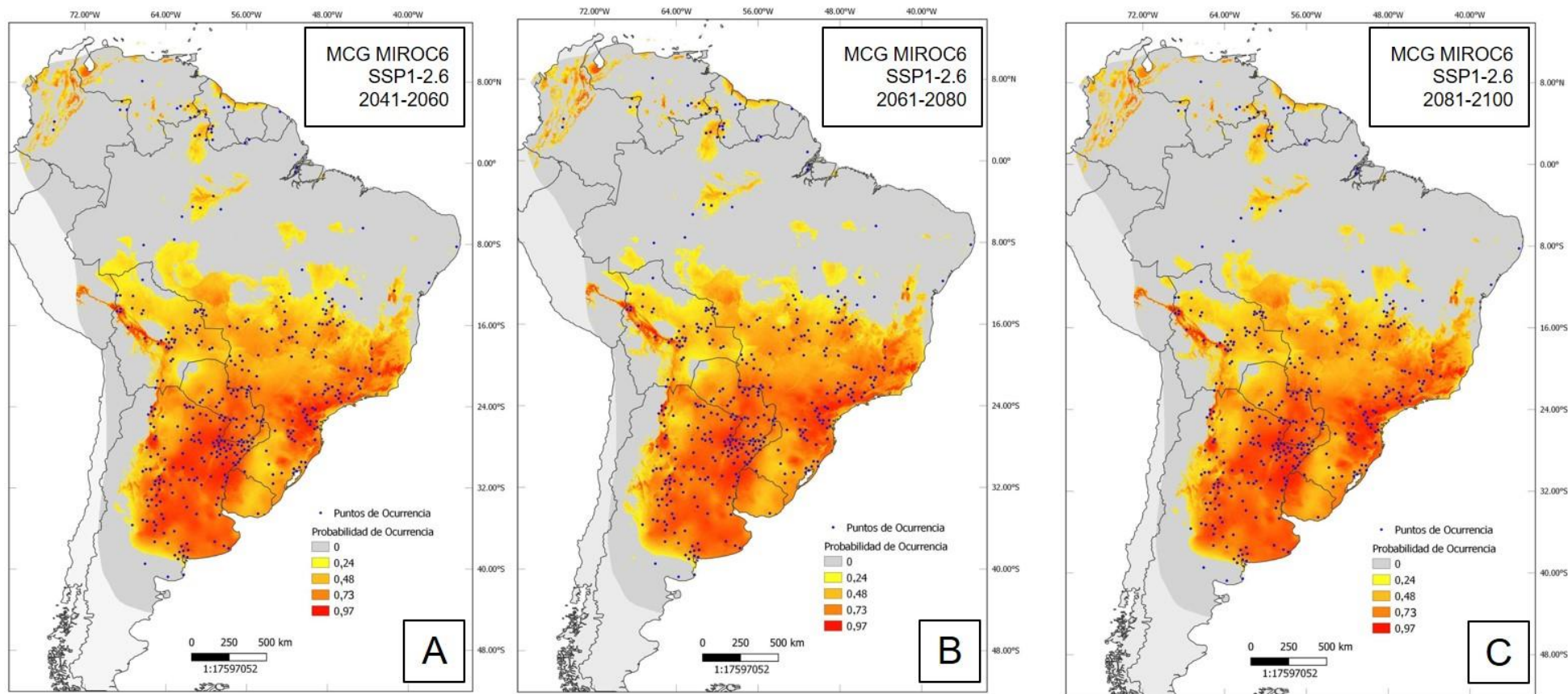
Por otra parte, en el modelo de circulación global MRI-ESM2-0 (Figura 7), la distribución de la especie se mantiene generalmente estable en el tiempo, y similar a la distribución de *E. muticus* en el presente, sobre todo en el período 2041-2060 (Figura 7 A). En el escenario SSP1-2.6 de este modelo, para los períodos 2061-2080 (Figura 7 B), y 2081-2100 (Figura 7 C), se observa una porción al norte de la región de las Yungas Bolivianas la cual se retrae y fragmenta en dos porciones con baja probabilidad de ocurrencia (24%). Sumado a esto, hay un aumento en la probabilidad de ocurrencia de *E. muticus* en el Norte, y centro y Este y Sur de la Sabana Uruguaya.

Finalmente, en el escenario SSP5-8.5 del modelo de circulación global MRI-ESM2-0, en el periodo 2041-2060 se observa una disrupción del área de distribución potencial de la especie rodeando zonas de baja probabilidad de ocurrencia (24%) en el norte de la ecorregión del Chaco Seco (Figura 8 A), dicha área se expande levemente en el periodo de 2061-2080 (Figura 8 B), para luego en el período

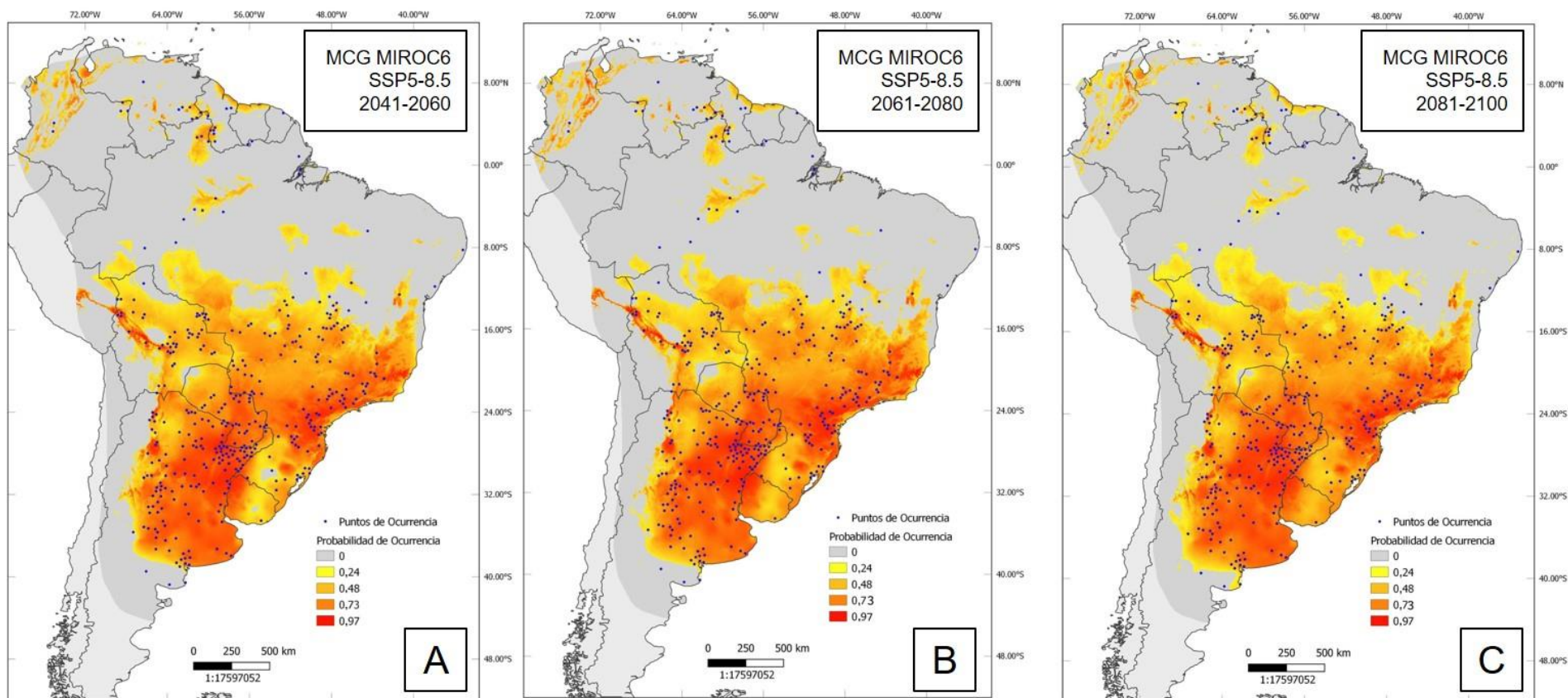
2081-2100 (Figura 8. C) volver a retraerse. Cabe aclarar que dicha pequeña área sin probabilidad de ocurrencia aparece en todos los MNE hechos. Además, la Figura 8 muestra que hacia el noroeste de la ecorregión del Cerrado se aprecia levemente un incremento en el área de distribución de *E. muticus* a lo largo de todos los periodos de tiempo (Figuras 8 A, B, C).

En comparación con el MNE del presente, en las predicciones a futuro, para el Modelo de Circulación Global MIROC 6, en el escenario SSP1-2.6 (mitigación) (Tabla 3 del Anexo) la temperatura máxima del mes más cálido (BIO 5), junto con la temperatura mínima del mes más frío (BIO 6), y la estacionalidad en las precipitaciones (BIO 15) disminuyen; mientras que la precipitación del mes más seco (BIO 14), la precipitación del cuatrimestre más frío (BIO 19) y la precipitación del mes más cálido (BIO 18) se incrementan. Por otro lado, los valores de la precipitación del cuatrimestre más seco (BIO 17) se mantienen constantes. En este mismo Modelo de Circulación Global, pero en el escenario SSP5-8.5 (pesimista) incrementan la temperatura máxima del mes más cálido (BIO 5) y la temperatura mínima del mes más frío (BIO 6) aumentan aproximadamente 1 °C, junto con la estacionalidad en las precipitaciones (BIO 15), y la precipitación del cuatrimestre más frío (BIO 19); mientras que la precipitación del cuatrimestre más seco (BIO 17) y la precipitación del mes más cálido (BIO 18) disminuyen. Finalmente, en la precipitación del mes más seco (BIO 14) no se observan cambios en los valores que adopta la variable a lo largo del tiempo.

Por otro lado, para el Modelo de Circulación Global MCG MRI-ESM2-0, en el escenario SSP1-2.6 (mitigación) (Tabla 3 del Anexo) la temperatura mínima del mes más frío (BIO 6), la precipitación del mes más seco (BIO 14), la precipitación del cuatrimestre más frío (BIO 19) y la precipitación del cuatrimestre más seco (BIO 17) aumentan y esta última lo hace considerablemente (de 85,82 mm en el periodo de tiempo de 2041-2060 hasta 148,13 mm en el periodo de 2081-2100); mientras que la temperatura máxima del mes más cálido (BIO 5) y la estacionalidad en las precipitaciones (BIO 15) disminuyen. Finalmente, la precipitación del mes más cálido (BIO 18) se mantiene constante. En el mismo Modelo de Circulación Global, pero en el escenario SSP5-8.5 (pesimista) la temperatura mínima del mes más frío (BIO 6) aumenta casi 1 °C, la precipitación del cuatrimestre más frío (BIO 19) y la precipitación del mes más seco (BIO 14) se incrementan considerablemente (de 35,23 mm en el periodo de tiempo de 2041-2060 hasta 42,66 mm el periodo de 2081-2100). Por otro lado, la estacionalidad en las precipitaciones (BIO 15) y la temperatura máxima del mes más cálido (BIO 5) disminuyen. La precipitación del cuatrimestre más seco (BIO 17) se mantiene constante, y para la precipitación del mes más cálido (BIO 18) no se observan cambios en los valores que adopta la variable a lo largo del tiempo.

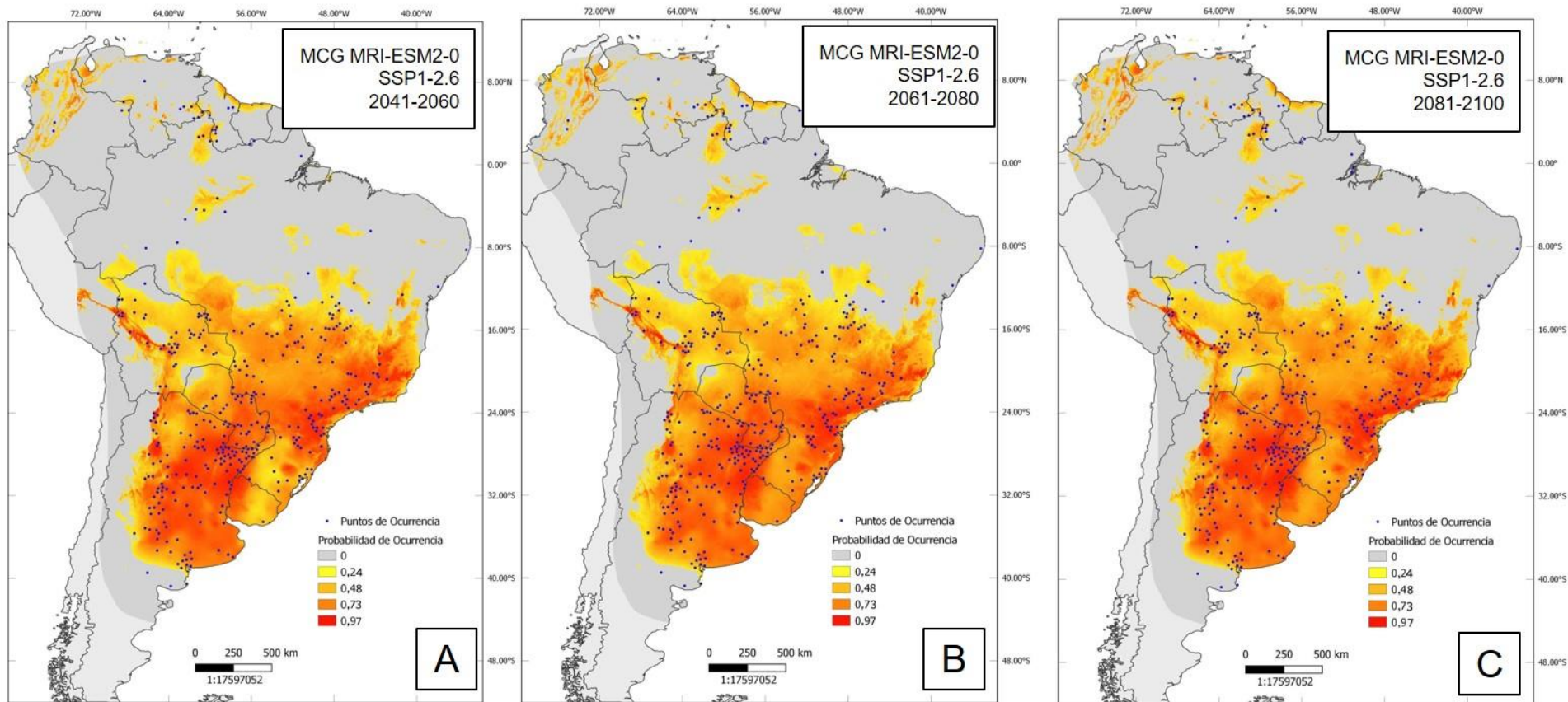


**Figura 5.** Distribución potencial de *E. muticus* en el futuro según el modelo MCG MIROC6, escenario SSP1-2.6. A. Período 2041-2060. B. Período 2061-2080. C. Período 2081-2100.

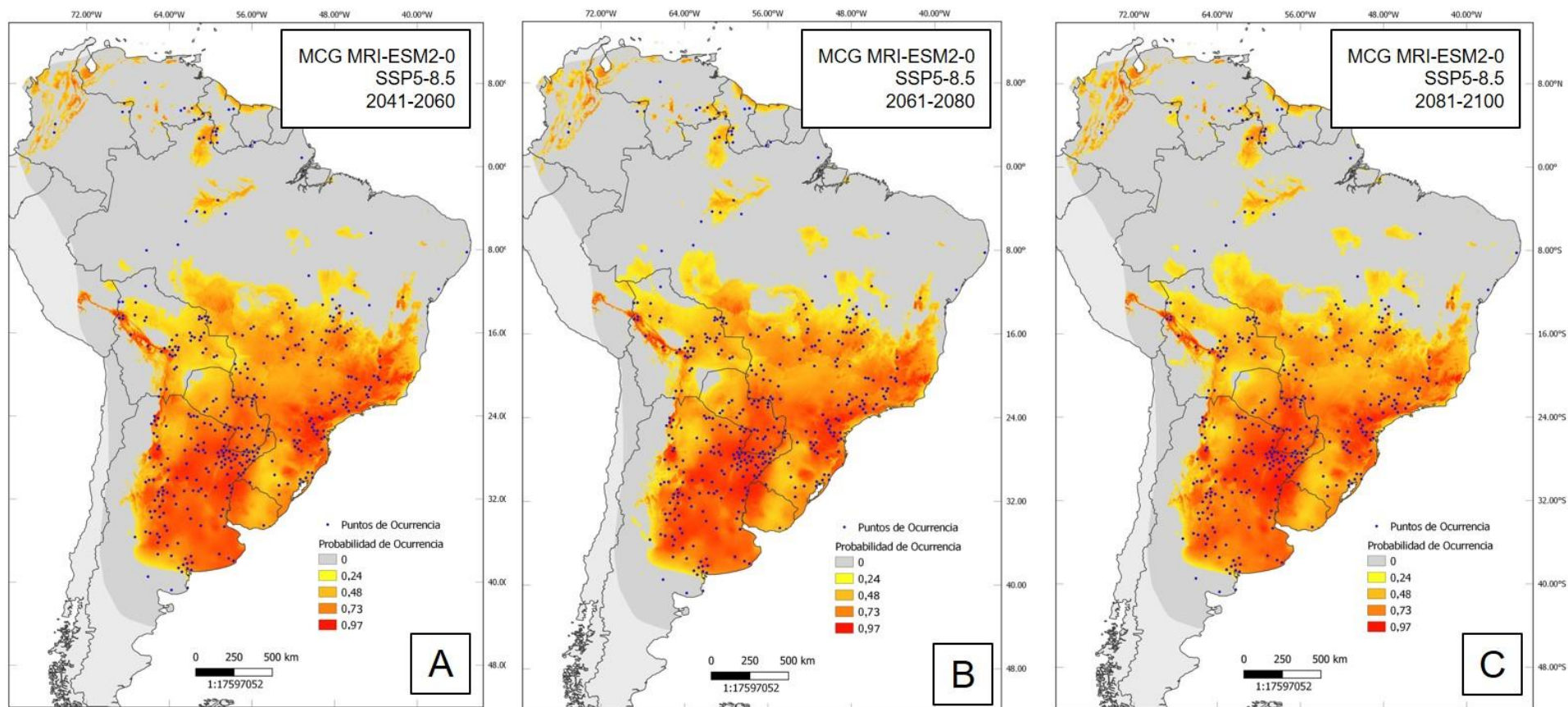


**Figura 6.** Distribución potencial de *E. muticus* en el futuro según el modelo MCG MIROC6, escenario SSP5-8.5. **A.** Período 2041-2060. **B.** Período 2061-2080. **C.** Período 2081-2100.





**Figura 7.** Distribución potencial de *E. muticus* en el futuro según el modelo MCG MRI-ESM2-0, escenario SSP1-2.6. A. Período 2041-2060. B. Período 2061-2080. C. Período 2081-2100.



**Figura 8.** Distribución potencial de *E. muticus* en el futuro según el modelo MCG MRI-ESM2-0, escenario SSP5-8.5. **A.** Período 2041-2060. **B.** Período 2061-2080. **C.** Período 2081-2100.

## **Requerimientos ecológicos**

A partir de los modelos de distribución obtenidos se establecieron rangos de valores óptimos tanto para el presente (Tabla 8; Figura 2 del Anexo) como para los escenarios futuros (Tablas 2 y 3 del Anexo). Estos valores están relacionados con las áreas de mayor aptitud para esta especie, y representan las condiciones óptimas en las cuales la especie es capaz de desarrollarse y subsistir.

**Tabla 8.** Rango de valores óptimos, y valores máximos obtenidos para cada variable bioclimática y edáfica ordenadas según su contribución al MNE de *E. muticus* en la actualidad.

<b>PRESENTE</b>			
<b>Código de la variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Óptimo</b>	<b>Rango</b>
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)	8,48	0,23-13,92
BIO 18	Precipitación del mes más cálido (mm)	407,42	288,50-594,05
PHIHOX	Índice de pH medido en solución acuosa (pH)	5,55	5,042-7,06
NITRÓGENO	Suma de nitrógeno Kjeldahl total (amoníaco, nitrógeno orgánico y reducido) y nitrato-nitrito (g/kg)	—	0-58,54
BIO 14	Precipitación del mes más seco (mm)	27,80	7,23-99,77
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)	26,82	24,43-30,92
WWP	Capacidad de agua disponible en el suelo (fracción volumétrica) hasta el punto de marchitamiento (%)	18,50	16,54-27,91
SLGW RB	Grado de suelo sódico (grado)	—	0-4,40
SLTPPT	Porcentaje en peso de las partículas de limo (0,0002-0,05 mm) (%)	57,08	11,65-100
BLDFIE	Densidad aparente (tierra fina) (kg/m <sup>3</sup> )	1232	1181,27-1420,30
BIO 15	Estacionalidad en las precipitaciones (Coeficiente de variación) (mm)	16,00	4,52-83,86
BIO 19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	88,08	26,06-319,97
ORCDR	Contenido de carbono orgánico del suelo (permille)	19,10	13,27-39,68
BIO 17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	142,26	26,52-319,48
CRFVOL	Porcentaje volumétrico de fragmentos gruesos (>2 mm) (%)	0,72	0,41-9,21

# Discusión

El presente Trabajo Final de Graduación constituye el primer análisis de la distribución potencial actual y futura de una especie del género *Elionurus*. Los resultados aquí obtenidos a partir del modelado de nicho ecológico basado en variables bioclimáticas, edáficas y de uso y cobertura de suelo aportaron información relevante que contribuye al conocimiento sobre la biogeografía y los requerimientos ecológicos de *E. muticus* en Sudamérica. Asimismo, los resultados de este trabajo permitieron evaluar el impacto de los diferentes escenarios futuros de cambio climático en la distribución de esta especie y a partir de todos los resultados obtenidos identificar las condiciones ecológicas y las regiones más adecuadas para el cultivo de esta especie.

## **Biogeografía y requerimientos ecológicos de *Elionurus muticus***

Las interacciones entre una especie y su entorno se reflejan en la distribución de su abundancia tanto en el espacio como en el tiempo (Brown et al., 1995). Se espera que las especies se distribuyan de forma no aleatoria en diferentes entornos ecológicos, como resultado de sus requisitos ecológicos específicos y su tolerancia a las desviaciones de sus condiciones óptimas (Hirzel et al., 2002). Las predicciones sobre la distribución geográfica de las especies pueden basarse en modelos matemáticos que relacionan las observaciones de campo con un conjunto de variables ambientales (Hirzel et al., 2006; Kirkpatrick et al., 1997). Estos factores ambientales pueden impactar de modo diferente en la distribución de las especies a distintas escalas espaciales. En una escala regional o geográfica el clima es el principal factor limitante, mientras que, a una escala local, la distribución de los organismos puede estar condicionada por las características geomorfológicas y edáficas (Whittaker, 1956; Bray y Curtis, 1957; Hutchinson, 1957).

Los resultados del análisis conjunto de la importancia de las variables bioclimáticas y edáficas en la distribución de *E. muticus* obtenidos en este Trabajo Final de Graduación han aportado información de interés que contribuye a aumentar el conocimiento sobre los requerimientos ecológicos que modelarán las áreas de distribución de esta especie. Estudios previos en los que se consideraron de manera independiente la contribución de variables climáticas y edáficas, mostraron que *E. muticus* crece en climas subtropicales con una estación fría corta y pocas heladas (Füller, 2013) y en suelos pobres, arenosos, arcillosos (Nicora y Rógolo de Agrasar, 1987) y con un pH ligeramente ácido (Hess et al., 2007; Da Silva Nunes, 2008; Füller et al., 2010; Coelho, 2018; Da Silva Nunes, 2008; Buglia, 2021). Los resultados aquí obtenidos concuerdan con dichos estudios y además, evidencian que, tanto la temperatura mínima del mes más frío (0,23°C - 13,92°C) como la precipitación del mes más cálido (288,50 mm - 594,05 mm), la precipitación del mes más seco (7,23mm - 99,77mm), la temperatura máxima del mes más cálido (24,43°C - 30,92 °C), la estacionalidad en las precipitaciones (4,52 mm - 83,86 mm), la precipitación del cuatrimestre más frío (26,06 mm - 319,97 mm), la precipitación del cuatrimestre más seco (26,52 mm - 319,48 mm ), el pH (5,042 - 7,06 ), y el contenido de Nitrógeno (0 g/kg – 58,54 g/kg) del suelo son las principales variables ambientales limitantes de la distribución potencial de la especie. Asimismo, y en concordancia con los antecedentes, los valores de densidad aparente (1181 kg/m<sup>3</sup> - 1420 kg/m<sup>3</sup>) obtenidos en este trabajo son

los típicos de suelos arenosos a arcillosos estructurados (Alvarado y Forsythe, 2005).

Sin embargo, el hecho de que las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia de *E. muticus* se mantengan constantes al incorporarse las variables edáficas al modelado, sugiere que las variables bioclimáticas serían más importantes que las edáficas en la distribución de *E. muticus* a una escala geográfica. De acuerdo a los resultados de los modelos climáticos y edáficos del presente aquí obtenidos, las áreas más favorables para *E. muticus* coinciden, en general, con los puntos de ocurrencia de la especie en las ecorregiones: Espinal, Pampas Húmedas, Sabana inundada del Paraná, sureste del Chaco Seco, Oeste de las Yungas del sur de los Andes, Oeste de la Sabana Uruguaya, Chaco Húmedo, Campos y Malezales, Bosques húmedos de Araucaria, Bosques Costeros de Serra do Mar, Bosque Atlántico del Alto Paraná, el sur del Cerrado, y sur de los Bosques del Interior de Bahía, Yungas Bolivianas y en el Norte de la Cordillera oriental. Sumado a esto, también se observó un área con elevada probabilidad de ocurrencia (73%-97%) para la cual no se cuenta con registros de la especie, se trata de la ecorregión Bosques Montanos del Noroeste de los Andes. Dicha región podría ser considerada como probable sitio de muestreo, o bien ser destinada como área de cultivo de *E. muticus*.

### **Impacto del cambio de uso/cobertura del suelo.**

El hecho que las áreas climática y edáficamente más favorables para la especie disminuyeran notablemente al superponer las capas de cobertura y uso de suelo evidencia el impacto del efecto antrópico en la distribución de la especie. En este sentido, las áreas donde se detectó la mayor disminución del área de ocurrencia de la especie coinciden con el área de mayor productividad agropecuaria de la región y/o en la que se ha producido el mayor avance de la frontera agrícola en las últimas décadas (Morello y Mateucci, 1999; Miñarro y Bilenca, 2008; Morello et al., 2012). Los cambios en la cobertura y el uso de suelo pueden conducir a la fragmentación de las áreas más propicias para la distribución de las especies (Nagendra et al. 2004; Çakir et al., 2008). Esta fragmentación y disminución del área de distribución potencial de *E. muticus* podría afectar a la viabilidad de la especie, por lo que estudios futuros sobre el efecto de la fragmentación ecológica del área de *E. muticus* sobre su variabilidad genética y morfológica contribuirán para establecer zonas propicias para su cultivo, así como para establecer estrategias de conservación y/o restauración.

### **Modelado del impacto de escenarios futuros de cambio climático**

El cambio climático por calentamiento global amenaza con alterar profundamente los ecosistemas mundiales. Siendo que la presencia de especies suele estar estrechamente vinculada a las condiciones climáticas, el cambio en la temperatura o las precipitaciones puede lograr que sus hábitats actuales resulten inadecuados en el futuro (Bradley, 2009), lo que acabaría por cambiar la distribución potencial de las especies (Quesada-Quirós et al., 2017). El cambio climático puede provocar un desplazamiento de las áreas de distribución adecuadas hacia altitudes mayores y/o hacia los polos (Bradley, 2009; Parmesan y Yohe, 2003). En este sentido, los resultados del MNE aquí obtenidos evidenciaron que, en general, el área

de mayor probabilidad de ocurrencia de *E. muticus* se mantiene estable en todos los periodos de tiempo futuro y en ambos modelos de circulación global con sus respectivos escenarios analizados. Esta estabilidad podría deberse tanto a la capacidad de crecer en ambientes secos y pobres (Nicora y Rógolo de Agrasar, 1987) como de restablecimiento de la especie (Sarmiento, 1992; Buglia, 2021; Lewis et al., 1990). En este sentido, Buglia (2021) demostró que, a partir de un número reducido de tallos iniciales, *E. muticus* tiende a restablecerse produciendo homogéneamente biomasa en un corto lapso de tiempo. Estas características le permitirían contrarrestar los efectos del cambio climático y mantener su área de distribución.

### **Requerimientos para el cultivo. Posible Influencia de las condiciones climáticas en la producción de citral. Selección de áreas más específicas para el cultivo.**

En un programa de cultivo de plantas bioactivas, como *E. muticus*, resulta importante optimizar la calidad de los compuestos secundarios (aceites), junto con otros caracteres agronómicos como la producción de biomasa, y el contenido químico, puesto que estos caracteres determinan el coste del producto final (Füller, 2008). Para ello, las condiciones ambientales en las que se desarrollen las plantas deben ser las óptimas, pues estas influyen directamente en los caracteres de interés de la especie, o indirectamente a través del aumento de la biomasa en el caso de las plantas de especies productoras de aceites esenciales (Coelho, 2018).

El área de distribución potencial de *E. muticus* identificada en este estudio indica que casi todas las regiones adecuadas, con los óptimos climáticos, pertenecen a regiones tropicales, como lo sugerido por Burkart (1975), abarcando de esta manera una amplia distribución a lo largo de muchas ecorregiones. En el presente trabajo, se identificó a la temperatura mínima del mes más frío (8,5 °C), la precipitación del mes más cálido (407 mm), el índice de pH (5,5 pH) y la cantidad de Nitrógeno (0 g/kg – 58,54 g/kg) como las principales variables ambientales limitantes de la distribución potencial de *E. muticus*. Existe consenso entre diferentes autores sobre los meses y estaciones en los que se produce la floración de *E. muticus*, siendo estos primavera y verano (Füller et al., 2010; Buglia, 2021). Coelho (2018) investigó los efectos de las temperaturas en la floración de *E. muticus*, y sus resultados indicaron que la floración de los individuos, y en consecuencia la formación de las semillas, se producía en periodos en los que la temperatura en el invernadero era la más alta, con una media de 21 °C ( $\pm$  4°C). Los resultados aquí obtenidos concuerdan con estos valores, pues la temperatura máxima del mes más cálido adoptó un valor óptimo de 27 °C con un rango de 24°C a 31 °C. Además, *E. muticus* presenta un comportamiento conforme para una especie que requiere horas de frío durante el invierno para inducir a la floración (Füller et al., 2010). El invierno para plantas pertenecientes a Andropogoneae (la tribu a la cual pertenece *E. muticus*) típicas de zonas ecuatoriales y tropicales, tiene una temperatura media invernal de 15°C (Burkart, 1975) lo cual concuerda con la temperatura mínima del mes más frío tolerada por *E. muticus* (0 °C a 14°C) según los resultados aquí obtenidos.

Respecto a la germinación de las semillas de *E. muticus*, Buglia (2021) demostró que la temperatura óptima para la germinación de las semillas es de 25 °C y que las semillas germinadas a esta temperatura muestran mayor vigor. Por otra parte, Coelho (2018) demostró que las semillas no germinan a temperaturas

entre 5°C y 10°C, pero si lo hacen a partir de los 15°C. De esta forma, determinó el rango mínimo de temperatura para la germinación, el cual se situó entre 10°C y 15°C, pues las bajas temperaturas, además de determinar una reducción en el porcentaje de germinación, reducen el proceso debido a la reducción de actividad enzimática en el metabolismo. Sin embargo, no lograron determinar el intervalo de temperatura máxima para la germinación, porque la temperatura máxima probada (30 °C) no mostró una reducción significativa de la germinación, lo que sugiere que *E. muticus* es una especie con tolerancia a temperaturas altas. Además, las semillas de las regiones tropicales germinan entre 10° y 45 °C (Ong y Monteith, 1985). Esta información se ajusta a los rangos de valores óptimos de las variables ambientales obtenidos en este trabajo, pues la temperatura óptima que requiere *E. muticus* en el mes más cálido (verano, estación en el que germina una especie de climas tropicales) ronda entre los 24 °C a 31 °C.

Los suelos en los que se desarrolla *E. muticus* son arenosos, arcillosos y ácidos ácidos (Coelho, 2018; Da Silva Nunes, 2008) que concuerdan con los resultados aquí obtenidos, pues la densidad aparente (tierra fina) tomó valores de 1181 kg/m<sup>3</sup> a 1420 kg/m<sup>3</sup>, con un rango del índice de pH óptimo obtenido de 5 a 7, valores típicos de suelos arenosos a arcillosos estructurados (Alvarado y Forsythe, 2005).

Todos los factores ambientales anteriormente mencionados podrían afectar la concentración y calidad del aceite esencial de *E. muticus* (Da Silva Nunes, 2008; Füller, 2008; Buglia, 2021). Además de la influencia medioambiental, estos compuestos pueden sufrir variaciones químicas debido a factores genéticos (quimiotipos), así como determinados manejos técnicos de gestión como, por ejemplo, el momento de la cosecha y la fertilización (Da Silva Nunes, 2008). En este sentido, se observaron diferencias en los principales componentes de los aceites esenciales en relación a la procedencia geográfica de las plantas (Füller et al., 2010, 2014). La presencia del citral ha sido detectada en plantas provenientes del centro-oeste y sur de Brasil y en poblaciones del nordeste argentino (Scramim et al., 2000; Mevy et al., 2002; Cacciabue et al., 2005; Kolb et al., 2007; Sabini et al., 2006; Hess et al., 2007; Füller et al., 2010). Es destacable que las áreas en las que se ha detectado las mayores concentraciones de citral, coinciden con algunas de las zonas de mayor probabilidad de ocurrencia de *E. muticus* después de superponer el uso y cobertura del suelo al modelo. Por lo tanto, un estudio más detallado de los patrones de distribución de la producción y concentración de aceites esenciales incluyendo poblaciones de estas áreas permitirá identificar las regiones en las que se encuentren las mejores fuentes de germoplasma, en términos de producción y concentración de dichos aceites.

Las variables ambientales no mencionadas anteriormente (capacidad de agua disponible en el suelo hasta el punto de marchitamiento, precipitación del mes más cálido, precipitación del mes más seco, grado de suelo sódico, porcentaje en peso de las partículas de limo, estacionalidad en las precipitaciones, precipitación del cuatrimestre más frío, contenido de carbono orgánico del suelo, precipitación del cuatrimestre más seco, porcentaje volumétrico de fragmentos gruesos (>2 mm)) no han sido analizadas en estudios anteriores, por lo cual el presente trabajo es el primero en establecer los rangos de valores óptimos, brindando información precisa sobre los requerimientos ecológicos de esta especie.

Los análisis de MNE han sido empleados para analizar la distribución potencial y las áreas óptimas para el cultivo de especies tales como arroz (Akpoti et al., 2020), papa (Arias Huachamber, 2020), maíz (Hernández et al., 2018) vainilla (Hao et al., 2012), pimienta negra (Lentz et al., 2008), girasol (d'Eeckenbrugge et al., 2014), frijol común (Ramírez-Cabral et al., 2016), taro (Ramírez-Gil et al., 2018), entre

otras; así como para el de especies de plantas con potencial para su cultivo, como valeriana (Nagahama y Bonino, 2020), yacón (Vitali y Katinas, 2015) saxaul blanco (Ghehsareh Ardestani et al., 2021), palma silvestre, (Idohou et al., 2017), mbocayá (Plath et al., 2016). En el presente trabajo los MNE realizados han permitido estimar que las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia de *E. muticus* se ven restringidas principalmente a las ecorregiones del Espinal, Campos y Malezas, centro y sur de Chaco Húmedo, noroeste de la Sabana Uruguaya, sudeste de Chaco Seco, Norte de la Sabana inundada del Paraná, Suroeste del Espinal, y sureste de las Pampas Húmedas, las cuales resultarían de interés tanto para planificar campañas de muestreo como para el cultivo y aprovechamiento eficiente de la especie.



## Conclusiones

En el presente trabajo se utilizó el modelado de nicho ecológico como herramienta para identificar las áreas de distribución potencial actual y bajo diferentes escenarios futuros de cambio climático de *E. muticus* en Sudamérica. Se han identificado las características ecológicas óptimas de la especie, como ser su rango de temperaturas máximas y mínimas, nivel de precipitaciones, así como también particularidades del suelo como su densidad aparente, pH, porcentaje en peso de las partículas de limo. Resulta destacable que el uso y cobertura del suelo disminuye notoriamente el área óptima de *E. muticus*, quedando restringida al noroeste de la ecorregión de la Sabana Uruguaya, el Chaco Húmedo, Campos y Malezales, el norte de la Sabana Inundada del Paraná, suroeste del Espinal, y sureste de las Pampas Húmedas.

Asimismo, los resultados aquí obtenidos permiten identificar las ecorregiones del Espinal, Pampa Húmeda, Sabana Inundada del Paraná, sureste del Chaco Seco, Oeste de las Yungas del sur de los Andes, Oeste de la Sabana Uruguaya, Chaco Húmedo, Campos y Malezales, Bosques húmedos de Araucaria, Bosques Costeros de Serra do Mar, Bosque Atlántico del Alto Paraná, el sur del Cerrado, y sur de los Bosques del Interior de Bahía, Yungas Bolivianas y en el Norte de la Cordillera oriental, como áreas propicias para muestreo a campo y cultivo de *E. muticus* en Sudamérica. Cabe destacar a las regiones del suroeste del Cerrado, noreste argentino y centro-oeste y sur de Brasil, por tratarse de áreas que prevalecen luego de superponer las capas de uso y cobertura de suelo, y en las cuales se han registrado poblaciones con altas concentraciones del aceite esencial.

# Bibliografía

- Akpoti, K., A. T., Kabo-Bah, E. R. Dossou-Yovo, T. A. Groen y S. J Zwart. 2020. Mapping suitability for rice production in inland valley landscapes in Benin and Togo using environmental niche modeling. *Science of the Total Environment*, 709, 136-165.
- Alvarado, A. y W. Forsythe. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(1), 85-94.
- Anónimo. 1985. *Diario Clarín*, 3/VIII.
- Arias Huachamber, E. J. 2020. Análisis de la influencia del cambio climático en los cultivos de papa y maíz en la Cuenca de Mito-Distrito de Quisqui, Región Huánuco. Tesis para Optar el Título Profesional de: Biólogo Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Beck, J. 2013. Predicting climate change effects on agriculture from ecological niche modeling: who profits, who loses? *Climatic Change* 116(2), 177–189.
- Bertuzzi, M. A., A. M. Slavutsky, y M. Armada. 2012. Physicochemical characterisation of the hydrocolloid from Brea tree (*Cercidium praecox*). *International Journal of Food Science & Technology* 47(4), 768-775.
- Boose, A. B. y J. S. Holt. 1999. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. *Weed Research* 39(2), 117-127.
- Bradley, B. A. 2009. Regional analysis of the impacts of climate change on cheatgrass invasion shows potential risk and opportunity. *Global Change Biology*, 15(1), 196-208.
- Bray, J. R., y J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*, 27(4), 326-349.
- Brown, J. H., D. W. Mehlman y G. C. Stevens. 1995. Spatial variation in abundance. *Ecology*, 76(7), 2028-2043.
- Buglia, A. G. 2021. Study on Vegetative Propagation of *Elionurus latiflorus* (Nees Ex Steud.) Hack. *European Journal of Medicinal Plants*, 32(1), 29-36.
- Burkart, A. 1975. Evolution of grasses and grasslands in South America. *Taxon*, 24(1), 53-66.
- Cacciabue, M., N. Gallucci, G. P. Cordero, N. Kolb, M. Demo y L. Sabini. 2005. *Elionurus muticus* from north of Argentina: evaluation of the antibacterial activity of three essential oil chemotypes. *Biocell*, 29(2), 223.
- Çakir, G., C. Ün, E. Z. Baskent, S. E. L. A. H. A. T. T. İ. N. Köse, F. Sivrikaya y S. Keleş. 2008. Evaluating urbanization, fragmentation and land use/land cover change pattern in Istanbul city, Turkey from 1971 to 2002. *Land Degradation & Development*, 19(6), 663-675.
- Castro, L.O. y R. L. D. Ramos. 2003. Principais gramíneas produtoras de óleos essenciais. *Cymbopogon citratus* (D. C.) Staupf., capim-cidró, *Cymbopogon martinii* (Rox) J. F. Watson, palma-rosa, *Cymbopogon nordus* (L) Rendle, citronela, *Elyonurus candidus* (Trin) Hack., campim-limão, *Vetiveria zizanioides* (L) Nash, vetiver. Porto Alegre: FEPAGRO, 31p. (Boletim FEPAGRO, 11).
- Cerino, M. C., G. A. Richard, J. P. Torreta, H. F. Gutiérrez y J. F. Pensiero. 2015. Reproductive biology of *Ziziphus mistol* Griseb. (Rhamnaceae), a wild fruit tree of saline environments. *Flora-morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 211, 18-25.
- Coelho, A. P. D. 2018. Caracterização fenotípica e determinação do sistema de cruzamento de *Elionurus muticus*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.

- Core Team, R. 2014. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. *R Foundation for Statistical Computing*.
- Costa, M. da S. G., R. de C. Batista, y R. Gurgel-Gonçalves. 2014. Predicting geographic distributions of *Phacellodomus* species (Aves: Furnariidae) in South America based on ecological niche modeling. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 36(3), 299-306. <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v36i3.22165>
- d'Eeckenbrugge, G. C. y J. M. Lacape. 2014. Distribution and differentiation of wild, feral, and cultivated populations of perennial upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in Mesoamerica and the Caribbean. *Plos One*, 9(9).
- Da Silva Nunes, A. C. G. 2008. Coleta, prospecção em herbários e estudos sobre propagação vegetativa de capim limão (*Elionurus* sp.). Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia Área de Concentração Horticultura. Porto Alegre (RS).
- Dzingirai, B., M. Muchuweti, T. Murenje, C. Chidewe, M. A. N. Benhura y L. Chagonda. 2007. Phenolic content and phospholipids peroxidation inhibition by methanolic extracts of two medicinal plants: *Elionurus muticus* and *Hypoxis hemerocallidea*. *African Journal of Biochemistry Research*, 1(7), 137-41.
- Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. McOverton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. S. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. S. Wisz, y N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.
- *Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze in GBIF Secretariat (2022). GBIF.org (20 May 2022) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.rcp6sp>.
- Fester, G. A., E. A. Martinuzzi, J. A. Retamar y A. Ricciardi. 1961. Aceites esenciales de la República Argentina. Academia nacional de Ciencias, Córdoba.
- Fick, S. E. y R. J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315.
- Franco, F. y G. A. Camps. 2020. La aplicación de modelos de distribución de especies para la realización de inferencias arqueológicas. Una ejemplificación a partir de *Geoffroea decorticans* en el área Sudcalchaquí (Noroeste, Argentina). *Intersecciones en Antropología*, 21(2), 131-144.
- Füller, T. N. 2008. Caracterização fenotípica, fitoquímica e molecular de populações de *Elionurus* sp. Humb. y Bompl ex Willd (capim-limão). Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Füller, T. N. 2013. Caracterização genética e química e atividade biológica do óleo essencial de populações naturais de *Elionurus muticus* Humb. & Bompl ex Willd. Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Füller, T. N., C. Tessele, I. B. I. D. Barros y J. F. Barbosa Neto. 2010. Phenotypical, phytochemical and molecular characterization of capimcarona [*Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze] populations. *Brazilian Journal of Medicinal Plants* 12, 261-268.
- Füller, T. N., C. Bertrand, A. Simon, I. B. I. de Barros y J. F. B. Neto. 2014. *Elionurus muticus* as an alternative source of citral from Pampa biome, Brazil. *Journal of Oleo Science*, 63(11), 1109-1116.
- Ghehsareh Ardestani, E., H. Rigi, y A. Honarbakhsh. 2021. Predicting optimal habitats of *Haloxylon persicum* for ecosystem restoration using ensemble ecological niche modeling under climate change in southeast Iran. *Restoration Ecology*, 29(6), e13492.
- Guenther, E. 1950. The Essential Oils, Vol. IV. The Essential Oils, Vol. IV.

- Guisan, A. y W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, v. 8, n. 9: 993-1009.
- Guisan, A., O. Broennimann, R. Engler, M. Vust, N. G. Yoccoz, A. Lehmann y N. E. Zimmermann. 2006. Using niche-based models to improve the sampling of rare species. *Conservation Biology*, 20(2), 501–511. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00354>.
- Hao, C. Y., F. A. N. Rui, M. C. Ribeiro, L. H Tan, H. S. Wu, J. F Yang y Y. Huan. 2012. Modeling the potential geographic distribution of black pepper (*Piper nigrum*) in Asia using GIS tools. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(4), 593-599.
- Hengl, T., J. M. de Jesus, R. A. Mac Millan, N. H. Batjes, G. B. Heuvelink, E. Ribeiro y M. R. Gonzalez. 2014. SoilGrids1km—global soil information based on automated mapping. *PLoS One*, 9(8), e105992.
- Hengl, T., J. Mendes de Jesus, G. B. Heuvelink, M. Ruiperez Gonzalez, M. Kilibarda, A. Blagotić y B. Kempen. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS One*, 12(2), e0169748.
- Hernández, H. R., K. L. T. García y B. E. H. Cabrera. 2018. Caracterización del ambiente de los vainillales y área potencial para su cultivo en la Huasteca Potosina. *Biotecnia*, 20(3), 49-57.
- Hess, S. C., M. T. Peres, A. L. Batista, J. P. Rodrigues, S. C. Tiviroli, L. G. Oliveira y S. Pantaroto. 2007. Evaluation of seasonal changes in chemical composition and antibacterial activity of *Elionurus muticus* (Sprengel) O. Kuntze (Gramineae). *Química Nova*, 30, 370-373.
- Heydorn, S., T. Menné, K. E. Andersen, M. Bruze, C. Svedman y I. R. White. 2003. Citral, a fragrance allergen and irritant. *Contact dermatitis*, 49(1), 32-36.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J.L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 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.
- Hirzel, A. H., J. Hausser, D. Chessel y N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, 83(7), 2027-2036.
- Hirzel, A. H., G. Le Lay, V. Helfer, C. Randin, y A. Guisan. 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling*, 199(2), 142-152.
- Hutchinson, H. W. 1957. Village and plantation life in Northeastern Brazil.
- Idohou, R., A. Townsend Peterson, A. E. Assogbadjo, R. L. Vihotogbe, E. Padonou, y R. Glèlè Kakaï. 2017. Identification of potential areas for wild palm cultivation in the Republic of Benin through remote sensing and ecological niche modeling. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64(6), 1383-1393.
- Jing-Song, S., Z. Guang-Sheng y S. Xing-Hua. 2012. Climatic suitability of the distribution of the winter wheat cultivation zone in China. *European Journal of Agronomy*, 43,77- 86.
- Karra, K., C. Kontgis, Z. Statman-Weil, J. C. Mazzariello, M. Mathi y S. P. Brumby. 2021. Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning. In 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 4704-4707. IEEE.
- Kass, J. M., B. Vilela, M. E. Aeillo-Lammens, R. Muscarella y R. P Anderson. 2017. Wallace: A modular platform for reproducible ecological modeling (Version 0.6. 3).
- Kirkpatrick, M. y N. H. Barton. 1997. Evolution of a species' range. *The American Naturalist*, 150(1), 1-23.
- Kodis, M. O., P. Galante, E. J. Stearling y M. E. Blair. 2018. Ecological niche modeling for a cultivated plant species: a case study on taro (*Colocasia esculenta*) in Hawaii. *Ecological Applications* 28(4), 967–977.

- Kolb, N., D. Ferrera, E. Kolb, R. Rodríguez y L. Vivero. 2007. Evaluación de la aptitud del espartillo para su explotación comercial. Misiones: Universidad Nacional de Misiones. Available at: <[http://www.unam.edu.ar/index.php?option=com\\_content&task=view&id=243&Itemid=123](http://www.unam.edu.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=243&Itemid=123)>
- Kolb, E., N. Kolb, D. J. Ferreyra, R. F. Uliana, L. S. Celaya, C. Puglisi, R. A. Miño y J. Huk. 2012. Poaceas de Misiones: quimiotipos de *Elionurus muticus*. Dominguezia. 28, 76.
- Koshima, F. A. T., L. C. Ming y M. O. M. Marques. 2006. Produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e de citral em capim-limão, *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, com cobertura morta nas estações do ano. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, 8(4), 112-116
- Lentz, D. L., R. Bye y V. Sánchez-Cordero. 2008. Ecological niche modeling and distribution of wild sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Mexico. International Journal of Plant Sciences, 169(4), 541-549.
- Lewis, J. P., S. L. Stofella, E. F. Pire, E. A. Franceschi, N. J. Carnevale y D. E. Prado. 1990. Dynamics and development of floristic richness in the vegetation of a large depressed area of the Great Chaco. Flora, 184(1), 63-77.
- Lopes, T. M., D. Bailly, B. A. Almeida, N. C. Santos, B. C. Gimenez, G. O. Landgraf, Sales, P. C. L., M. S. Lima-Ribeiro, F. A. S. Cassemiro, T. F. Rangel, J. A. F. Diniz-Filho, A. A. Agostinho y L. C. Gomes . 2017. Two sides of a coin: effects of climate change on the native and non-native distribution of *Colossoma macropomum* in South America. PLoS ONE 12(6), e0179684.
- Marino, G. D., F. Miñarro, M. E. Zaccagnini y B. López-Lanús (eds.). 2013. Pastizales y sabanas del cono sur de Sudamérica: iniciativas para su conservación en la Argentina. Temas de Naturaleza y Conservación, Monografía de Aves Argentinas N° 9. Aves Argentinas/AOP, Fundación Vida Silvestre Argentina e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Miñarro, F., D. Bilenca. 2008. The conservation status of temperate grasslands in central Argentina. Special report. Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Mevy, J. P., J. M. Bessiere, M. Dherbomez y J. Viano. 2002. Composition and some biological activities of the essential oils from an African pasture grass: *Elionurus elegans* Kunth. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(15), 4240-4243.
- Morello, J. y S. D. Matteucci. 1999. Biodiversidad y fragmentación de los bosques en la Argentina. In: Matteucci SD, Solbrig OT, Morello J Halffter G, eds. Biodiversidad y uso de la tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica. Buenos Aires: Eudeba-Unesco, 463-498.
- Morello, J., S. Matteucci, A. Rodríguez y M. Silva. 2012. Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos. Orientación Gráfica Editora. 720.
- Mota Vargas, C., A. Encarnación-Luévano, H. M. Ortega-Andrade, D. A. Prieto-Torres, A. Peña-Peniche y O. R. Rojas-Soto. 2019. Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. En: Moreno C.E. (Ed) La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, 39-63.
- Nagahama, N. y M. F. Bonino. 2020. Modeling the potential distribution of *Valeriana carnososa* Sm. in Argentinean Patagonia: A proposal for conservation and in situ cultivation considering climate change projections. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 16, 100240.
- Nagendra, H., D. K. Munroe y J. Southworth. 2004. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. Agriculture, Ecosystems & Environment, 101(2-3), 111-115.
- Nicora, E. G. y Z. E. R. de Agrasar. 1987. Los géneros de gramíneas de América Austral: Argentina, Chile, Uruguay y áreas limítrofes de Bolivia, Paraguay y Brasil. Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- Olson, D. M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burgess, G. V. Powell, E. C. Underwood y K. R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. BioScience, 51(11), 933-938.

- Ong, C. K. y J. L. Monteith. 1985. Response of pearl millet to light and temperature. *Field Crops Research*, 11, 141-160.
- Parera, A. F. 2011. Guía de bolsillo de aves y plantas de los pastizales naturales del Cono Sur. Argentina: Edición del Autor. ISBN 978-987-33-1218-2. 120 p.
- Parmesan, C. y G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Pearson, R. G., C. J. Raxworthy, M. Nakamura y A.T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102-117.
- Pearson, R. G. 2010. Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Lessons Conserv*, 3, 54-89.
- Perroni-Ventura, Y., C. Montaña y F. García-Oliva. 2006. Relationship between soil nutrient availability and plant species richness in a tropical semi-arid environment. *Journal of Vegetation Science* 17(6), 719-728.
- Peterson, A. T. y Y. Nakazawa. 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.
- Phillips, S., R. Anderson y R. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, M. Dudík, R. E. Schapire y M. Blair. 2017. Opening the black box: an open-source release of MaxEnt. *Ecography*, 40, 887-893.
- Plath, M., C. Moser, R. Bailis, P. Brandt, H. Hirsch, A. M. Klein y H. von Wehrden. 2016. A novel bioenergy feedstock in Latin America? Cultivation potential of *Acrocomia aculeata* under current and future climate conditions. *Biomass and Bioenergy*, 91, 186-195.
- Quesada-Quirós, M., L. G. Acosta-Vargas, D. Arias-Aguilar y A. Rodríguez-González. 2017. Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 01-12.
- Ramirez-Cabral, N. Y. Z., L. Kumar y S. Taylor. 2016. Crop niche modeling projects major shifts in common bean growing areas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 218, 102-113.
- Ramírez-Gil, J. G., J. G. Morales y A. T. Peterson. 2018. Potential geography and productivity of "Hass" avocado crops in Colombia estimated by ecological niche modeling. *Scientia Horticulturae*, 237, 287-295.
- Sabini, L. I., P. Cordero Gabrieli, C. V. Torres, F. M. Escobar, M. Cacciabue, M. Rovera y N. Kolb. 2006. Study of the cytotoxic and antifungal activity of the essential oil of *Elionurus muticus* against *Candida spp.* *Molecular Medicinal Chemistry*, v.11, 31-3.
- Sarmiento, G. 1992. Adaptive strategies of perennial grasses in South American savannas. *Journal of Vegetation Science*, 3, 325-336.
- Scramin, S., M. L. Saito, A. Pott y M. Ortiz Mayo Marques. 2000. Essential oil of *Elionurus muticus* (Sprengel) O. Kuntze (Gramineae). *JEOR*. 12, 298-300.
- Silva, R. A., R. E. López de Ruiz y S. O Ruiz. 2004. Estudio fitoquímico de flores de *Geoffroea decorticans* (Gill. ex Hook. et Arm.) Burk, Leguminosae (Fabaceae). *Acta Farmaceutica Bonaerense*, 23(4), 524-6.
- Spooner, D. M., T. Gavrilenko, S. H. Jansky, A. Ovchinnikova, E. Krylova, S. Knapp y R. Simon. 2010. Ecogeography of ploidy variation in cultivated potato (*Solanum* sect. *Petota*). *American Journal of Botany*, 97(12), 2049–2060.
- Stuckert, T. 1904. Contribución al conocimiento de las Gramináceas argentinas. JA Alsina.

- Swets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240,1285-1293.
- Tredgold, M. H. 1986. Food plants of Zimbabwe: with old and new ways of preparation. Mambo Press.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 21 Jun 2022<<https://tropicos.org>>
- Vidal, A. A. 1954. Estudio químico de una gramínea argentina "*Elionurus viridulus* Hackel". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 302, 167-180.
- Vitali, M. S. y L. Katinas. 2015. Modelado de distribución de las especies argentinas de *Smallanthus* (Asteraceae), el género del "yacón": un cultivo potencial para la agricultura familiar. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114, 110-121.
- Whittaker, R. H.1956. Vegetation of the great smoky mountains. *Ecological Monographs*, 26(1), 2-80.
- Wiens, J. y C. Graham. 2005. Niche Conservatism: Integrating Evolution, Ecology, and Conservation Biology. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 36, 519-539.
- Zuloaga, F. O., O. Morrone, G. Davidse, T. S. Filgueiras, P. M. Peterson, R. J. Soreng y E. J. Judziewicz. 2003. Catalogue of New World grasses (Poaceae): III. Subfamilies Panicoideae, Aristidoideae, Arundinoideae, and Danthonioideae. *Catalogue of new world grasses (Poaceae): III. Subfamilies Panicoideae, Aristidoideae, Arundinoideae, and Danthonioideae*. 227.
- Zuloaga, F.O., Z. E. Rúgolo y A. M. Anton (Eds.). 2012. Flora Argentina. Plantas Vasculares de la República Argentina. Monocotiledoneae: Poaceae: Aristidoideae-Pharoideae. Vol. 3, I, 514-516.

# Anexo

**Tabla 1.** Puntos de ocurrencia (coordenadas geográficas) de *Elionurus muticus* (incluyendo sus sinonimias) utilizados para los modelados de nicho ecológico.

Individuos	Longitud	Latitud
1.	-35,2000	-8,2300
2.	-37,9333	-11,7833
3.	-41,3833	-12,5666
4.	-42,8819	-20,7539
5.	-43,6000	-19,3166
6.	-43,6003	-18,2494
7.	-43,6919	-20,5207
8.	-43,8013	-20,2532
9.	-44,1996	-20,14329
10.	-44,4768	-6,3926
11.	-44,5039	-21,2207
12.	-44,6366	-13,3433
13.	-44,6427	-21,4880
14.	-44,7297	-22,2175
15.	-44,8900	-21,9589
16.	-44,9994	-21,24527
17.	-45,5900	-22,7230
18.	-45,8800	-23,1700
19.	-45,8994	-20,4405
20.	-46,0666	-11,4333
21.	-46,3222	-14,1236
22.	-46,3657	-20,2453
23.	-46,4233	-15,6177
24.	-46,5614	-21,7877
25.	-46,6302	-23,5405



26.	-46,6555	-20,2041
27.	-46,7500	-15,8000
28.	-46,7600	-22,7000
29.	-46,8746	-17,2222
30.	-46,8800	-23,1800
31.	-46,9422	-22,3722
32.	-47,0000	-16,0000
33.	-47,1697	-22,9223
34.	-47,4230	-15,3530
35.	-47,4961	-13,3838
36.	-47,5000	-22,0333
37.	-47,5444	-14,1013
38.	-47,7517	-15,6235
39.	-47,8333	-13,6444
40.	-47,9238	-22,2161
41.	-48,0355	-15,8789
42.	-48,0500	-23,5833
43.	-48,1034	-14,5128
44.	-48,1423	-19,0883
45.	-48,1699	-21,7900
46.	-48,1761	-14,8577
47.	-48,2027	-12,7802
48.	-48,2500	-22,4500
49.	-48,4166	-22,7500
50.	-48,4206	-14,4028
51.	-48,4833	-15,8666
52.	-48,8072	-15,8030
53.	-48,8597	-16,9566
54.	-48,9769	-26,0247
55.	-49,0633	-25,4416

56.	-49,1500	-13,3000
57.	-49,2052	-24,2683
58.	-49,2300	-27,2655
59.	-49,2421	-22,8104
60.	-49,2538	-16,6786
61.	-49,2655	-26,1924
62.	-49,3200	-18,3800
63.	-49,4041	-19,1002
64.	-49,4636	-24,1128
65.	-49,5333	-18,6333
66.	-49,6502	-25,4363
67.	-49,7158	-25,7696
68.	-49,8410	-21,5300
69.	-50,0064	-25,4293
70.	-50,0119	-24,7910
71.	-50,1277	-29,9505
72.	-50,1402	-15,9344
73.	-50,1618	-25,0949
74.	-50,1744	-29,4808
75.	-50,2434	-24,2496
76.	-50,3260	-27,8160
77.	-50,5000	-10,5000
78.	-50,4136	-24,5094
79.	-50,5835	-29,4480
80.	-50,7411	-23,7275
81.	-50,7700	-29,9669
82.	-51,0000	-17,6700
83.	-51,0300	-0,4000
84.	-51,0416	-30,3613
85.	-51,0936	-16,6191

86.	-51,1800	0,8575
87.	-51,2247	-27,4016
88.	-51,3250	-30,1138
89.	-51,3683	-30,5455
90.	-51,3700	-26,3800
91.	-51,4580	-25,3952
92.	-51,4700	-17,1200
93.	-51,4947	-27,1935
94.	-51,5443	-19,0674
95.	-51,62	-26,63
96.	-51,75	-12,85
97.	-51,7833	-17,200
98.	-51,8333	-26,9500
99.	-51,9077	-26,3683
100.	-52,1500	-15,5300
101.	-52,2333	-14,6333
102.	-52,2500	-15,8800
103.	-52,3385	-25,3264
104.	-52,3657	-13,5850
105.	-52,5219	-30,5438
106.	-52,5511	-17,5694
107.	-52,5700	-13,2000
108.	-52,7000	5,0800
109.	-52,9486	-18,4272
110.	-53,0500	-14,1000
111.	-53,1800	-26,3700
112.	-53,3808	-31,5783
113.	-53,3850	-30,6905
114.	-53,5000	-16,3333
115.	-53,8069	-29,6842

116.	-54,0000	-16,5830
117.	-54,0400	-28,3500
118.	-54,3325	-25,2633
119.	-54,4100	-25,8800
120.	-54,5000	-16,3300
121.	-54,5572	-25.4427
122.	-54,80559	-22,2210
123.	-54,8442	-18,9181
124.	-54,8600	-34,5500
125.	-54,9500	-25,3900
126.	-55,0000	-21,0000
127.	-55,1600	-24,1100
128.	-55,3300	-27,1600
129.	-55,4200	-24,9200
130.	-55,4600	-27,5500
131.	-55,5524	-22,2105
132.	-55,7500	2,3300
133.	-55,7500	-26,8300
134.	-55,7500	-22,0000
135.	-55,7700	-27,9200
136.	-55,7831	-20,4669
137.	-55,8324	-15,4076
138.	-55,8800	-28,3100
139.	-55,9200	-27,4800
140.	-55,9233	-22,3513
141.	-55.9953	-22,6556
142.	-56,0000	-23,0000
143.	-56,0000	-25,1666
144.	-56,09770	-15,5997
145.	-56,1500	2,0300

146.	-56,1883	-30,4013
147.	-56,2300	-28,2100
148.	-56,2500	-25,8333
149.	-56,2900	-27,4968
150.	-56,4080	-19,4800
151.	-56,4405	-20,3577
152.	-56,4500	-26,0500
153.	-56,4800	-27,8400
154.	-56,4819	-28,4184
155.	-56,4833	-22,1000
156.	-56,4900	-27,2600
157.	-56,6500	-29,1500
158.	-56,6500	-18,9833
159.	-56,7498	-27,4364
160.	-56,8200	-29,4700
161.	-56,8700	-27,7500
162.	-56,8972	-22,3827
163.	-56,9166	-16,2500
164.	-56,9500	-28,7600
165.	-57,0000	-23,0000
166.	-57,0000	-25,2500
167.	-57,0000	-26,0000
168.	-57,0880	-29,7550
169.	-57,1333	-19,8666
170.	-57,1700	-28,5300
171.	-57,3000	-25,1500
172.	-57,3100	-29,5500
173.	-57,3100	-22,4100
174.	-57,4166	-27,0500
175.	-57,4600	-27,8000

176.	-57,5183	-22,6856
177.	-57,5500	-19,4833
178.	-57,6255	-25,2962
179.	-57,6279	-28,1497
180.	-57,6533	-19,0091
181.	-57,6789	-16,0706
182.	-57,7666	-21,5500
183.	-57,7800	5,5600
184.	-57,7829	-37,9624
185.	-57,8300	-27,7100
186.	-57,8333	-22,1833
187.	-57,9200	-31,0000
188.	-58,0000	-29,0000
189.	-58,0300	-28,3600
190.	-58,0300	-31,3800
191.	-58,1200	-25,0700
192.	-58,1600	-30,7100
193.	-58,1755	-27,4325
194.	-58,2244	-28,04539
195.	-58,2300	5,5000
196.	-58,2500	-37,7200
197.	-58,2766	-25,36425
198.	-58,3700	-29,6400
199.	-58,3910	-23,2362
200.	-58,4000	-31,9100
201.	-58,5000	-27,3300
202.	-58,5000	-24,8333
203.	-58,5500	-4,5400
204.	-58,5800	-28,1900
205.	-58,6185	-26,2450

206.	-58,6242	-28,6818
207.	-58,6700	-34,6700
208.	-58,6700	-25,0900
209.	-58,6900	-23,6100
210.	-58,7200	-26,9200
211.	-58,7517	-27,5542
212.	-58,7600	-27,8500
213.	-58,8100	-33,0000
214.	-58,9300	-28,9600
215.	-58,9300	-27,3200
216.	-58,9472	-28,4375
217.	-58,9800	-33,6500
218.	-59,0000	-24,0000
219.	-59,1582	-37,3044
220.	-59,1800	-27,9300
221.	-59,2900	-3,2300
222.	-59,3000	-27,5500
223.	-59,3500	3,6600
224.	-59,3600	2,3100
225.	-59,4000	-18,2000
226.	-59,4500	-22,3500
227.	-59,4600	3,0600
228.	-59,4700	-28,6100
229.	-59,4833	3,3833
230.	-59,5400	-30,8900
231.	-59,5700	-25,4000
232.	-59,6666	-18,3333
233.	-59,7500	-22,5800
234.	-59,7800	3,3800
235.	-59,9900	-24,8400

236.	-60,0000	-15,0000
237.	-60,0000	2,3000
238.	-60,0333	4,8000
239.	-60,1999	-29,3973
240.	-60,2300	-14,4800
241.	-60,3600	-23,3400
242.	-60,3666	-14,8000
243.	-60,4200	-29,0800
244.	-60,4500	-17,5500
245.	-60,4800	-31,7000
246.	-60,5312	-27,5585
247.	-60,5600	-14,4300
248.	-60,5700	-4,3900
249.	-60,5945	-24,6962
250.	-60,6000	-23,5666
251.	-60,6375	-16,0000
252.	-60,6579	-26,5784
253.	-60,6600	2,8100
254.	-60,7178	-27,2816
255.	-60,7500	-17,9166
256.	-60,7500	5,1000
257.	-60,8594	-14,6047
258.	-60,9098	-31,0101
259.	-60,9300	-16,3800
260.	-60,9500	-34,5800
261.	-61,0517	-16,7097
262.	-61,0700	-14,4200
263.	-61,1000	2,7000
264.	-61,1252	-14,7050
265.	-61,1300	4,6100



266.	-61,1651	-27,4068
267.	-61,1700	-31,2500
268.	-61,2333	-26,8053
269.	-61,2900	-24,0700
270.	-61,3200	-25,1500
271.	-61,3500	-4,3000
272.	-61,3700	-30,1600
273.	-61,4700	-27,2500
274.	-61,5600	-16,4500
275.	-61,5833	4,5000
276.	-61,6256	-23,9939
277.	-61,6933	-31,1986
278.	-61,7779	-38,1403
279.	-61,8000	5,6300
280.	-61,8333	-16,3333
281.	-61,8700	-38,8400
282.	-61,9000	-37,5100
283.	-61,9000	-26,1800
284.	-61,9300	-33,8900
285.	-61,9300	-24,0800
286.	-61,9347	-16,7525
287.	-62,0000	-16,0000
288.	-62,1100	-23,8200
289.	-62,2300	-40,5700
290.	-62,2361	-32,9697
291.	-62,2400	-38,7000
292.	-62,2700	-38,2100
293.	-62,2700	-29,9800
294.	-62,3300	-28,6000
295.	-62,4000	-5,2600

296.	-62,4400	-37,7600
297.	-62,4900	-27,3200
298.	-62,5333	5,6333
299.	-62,5600	-31,2300
300.	-62,6445	-38,3324
301.	-62,7800	-39,0200
302.	-62,8200	-25,9500
303.	-62,8800	5,4100
304.	-63,1000	-38,6400
305.	-63,1000	-17,4000
306.	-63,1600	-36,2700
307.	-63,1666	-17,6666
308.	-63,1666	-7,5166
309.	-63,2636	-29,9791
310.	-63,2700	-16,2300
311.	-63,3000	-19,3000
312.	-63,3400	-32,4900
313.	-63,4100	-18,1500
314.	-63,41	-17,3300
315.	-63,5000	-19,5000
316.	-63,5311	-31,6997
317.	-63,6900	-17,6627
318.	-63,6911	-18,2525
319.	-63,7443	-16,6897
320.	-63,7900	-40,7700
321.	-63,8000	-37,4700
322.	-63,9500	-18,1083
323.	-63,9665	-17,3544
324.	-64,0800	-29,2300
325.	-64,1489	-28,1093

326.	-64,1500	-30,1833
327.	-64,1800	-36,4700
328.	-64,1900	-31,3900
329.	-64,2346	-35,0417
330.	-64,2700	-21,4300
331.	-64,3070	-24,9806
332.	-64,4200	-34,600
333.	-64,4600	-17,4800
334.	-64,5416	-33,3622
335.	-64,5800	-31,2000
336.	-64,6169	-32,1844
337.	-64,6700	-30,8700
338.	-64,6700	-31,5700
339.	-64,7680	-17,8113
340.	-64,7800	-28,6900
341.	-64,8333	-21,4500
342.	-64,9283	-33,7397
343.	-64,9283	-32,7397
344.	-64,9500	-35,6700
345.	-64,9900	-26,9200
346.	-65,0148	-22,1402
347.	-65,0347	-31,3300
348.	-65,0700	-24,2300
349.	-65,0928	-36,2053
350.	-65,1013	-31,6913
351.	-65,1100	-37,3200
352.	-65,1300	-27,1900
353.	-65,1677	-35,3763
354.	-65,1762	-25,99735
355.	-65,2400	-24,9000

356.	-65,4000	-33,1700
357.	-65,4100	-32,1400
358.	-65,4300	-24,0300
359.	-65,4400	-24,4600
360.	-65,5000	-28,9200
361.	-65,5000	-25,6800
362.	-65,5352	-30,1600
363.	-65,7200	-33,7900
364.	-65,7333	-24,7666
365.	-65,8500	-33,2100
366.	-65,8533	-35,3002
367.	-65,9100	-28,0200
368.	-65,9500	-30,1700
369.	-66,0600	-39,4800
370.	-66,0800	-17,2600
371.	-66,2000	-8,0600
372.	-66,2300	-14,5000
373.	-66,2860	-30,3731
374.	-66,2863	-35,1622
375.	-66,3011	-11,4925
376.	-66,3333	8,1000
377.	-66,3833	-14,8333
378.	-67,2500	-13,0833
379.	-67,3203	-35,6659
380.	-67,3277	-14,2922
381.	-67,7333	-16,1833
382.	-67,8500	5,2800
383.	-68,3570	6,1003
384.	-68,4900	-14,3400
385.	-68,4991	-14,6588

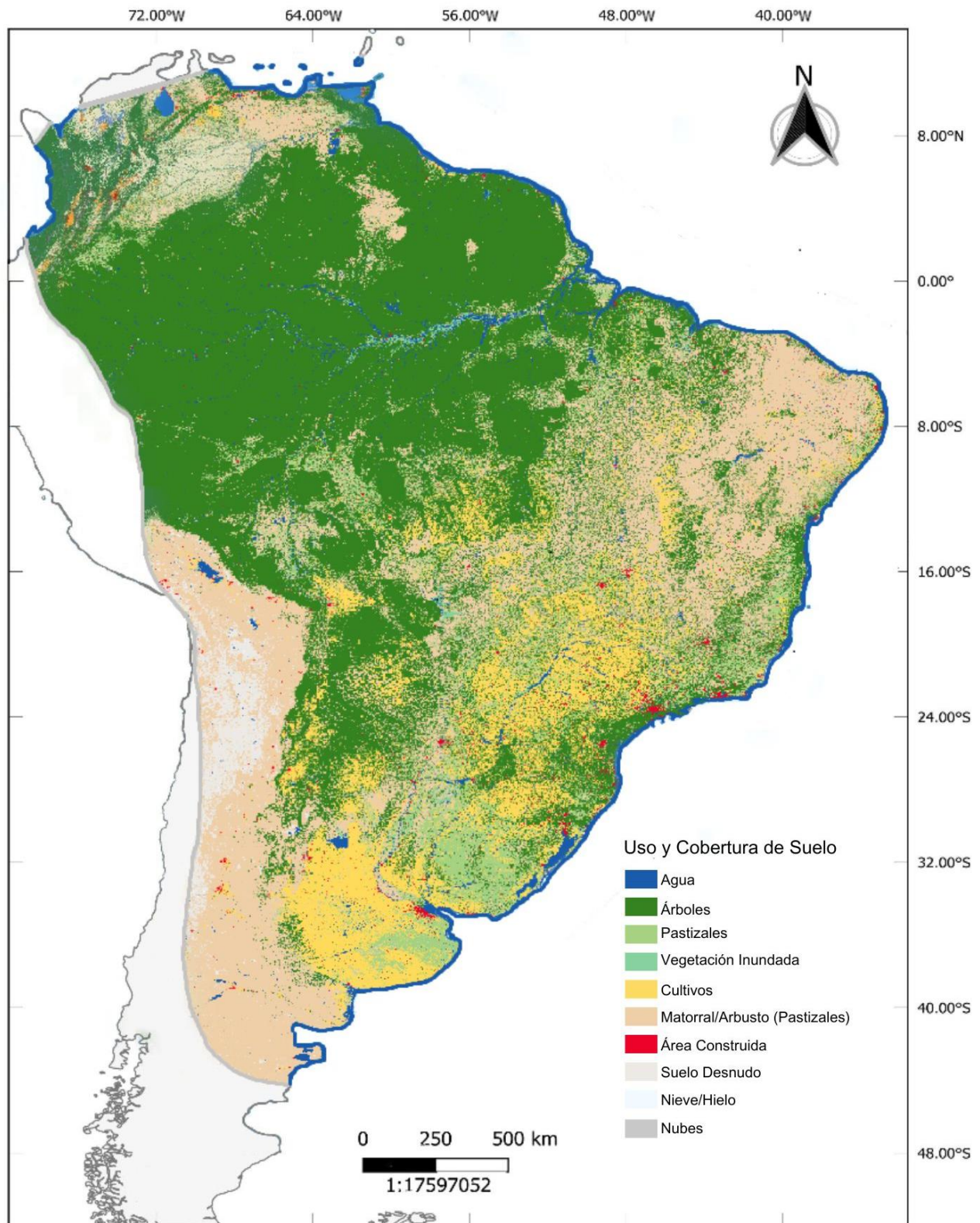
386.	-68,5100	-13,0200
387.	-68,5300	5,2700
388.	-68,8308	-14,5772
389.	-68,8500	-13,0333
390.	-75,0374	4,1057
391.	-75,1386	3,2875

**Tabla 2.** Valores óptimos de cada variable bioclimáticas en los MNEs de *Elionurus muticus* para el Modelo de Circulación Global (MCG) MIROC6 para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) 2.6 (mitigación) y 8.5 (pesimista) durante tres períodos de tiempo (2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100).

VARIABLES	MIROC 6					
	MITIGACIÓN SSP1-2.6			PESIMISTA SSP5-8.5		
	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2041-2060	2061-2080	2081-2100
<b>BIO 5</b>	26,48°C	26,07°C	25,78°C	25,98°C	25,80°C	26,49°C
<b>BIO 6</b>	9,22°C	8,95°C	8,30°C	8,59°C	8,80°C	7,80°C
<b>BIO 14</b>	30,46 mm	41,07 mm	43,90 mm	28,27 mm	42,87 mm	28,21 mm
<b>BIO 15</b>	16,07 mm	15,69 mm	13,09 mm	22,45 mm	16,84 mm	25,78 mm
<b>BIO 17</b>	15,95 mm	152,17 mm	152,50 mm	148,10 mm	160,04 mm	133,49 mm
<b>BIO 18</b>	398,27 mm	414,33 mm	411,30 mm	411,73 mm	402,50 mm	396,20 mm
<b>BIO 19</b>	61,49 mm	104,95 mm	66,40 mm	63,98 mm	134,91 mm	96,86 mm

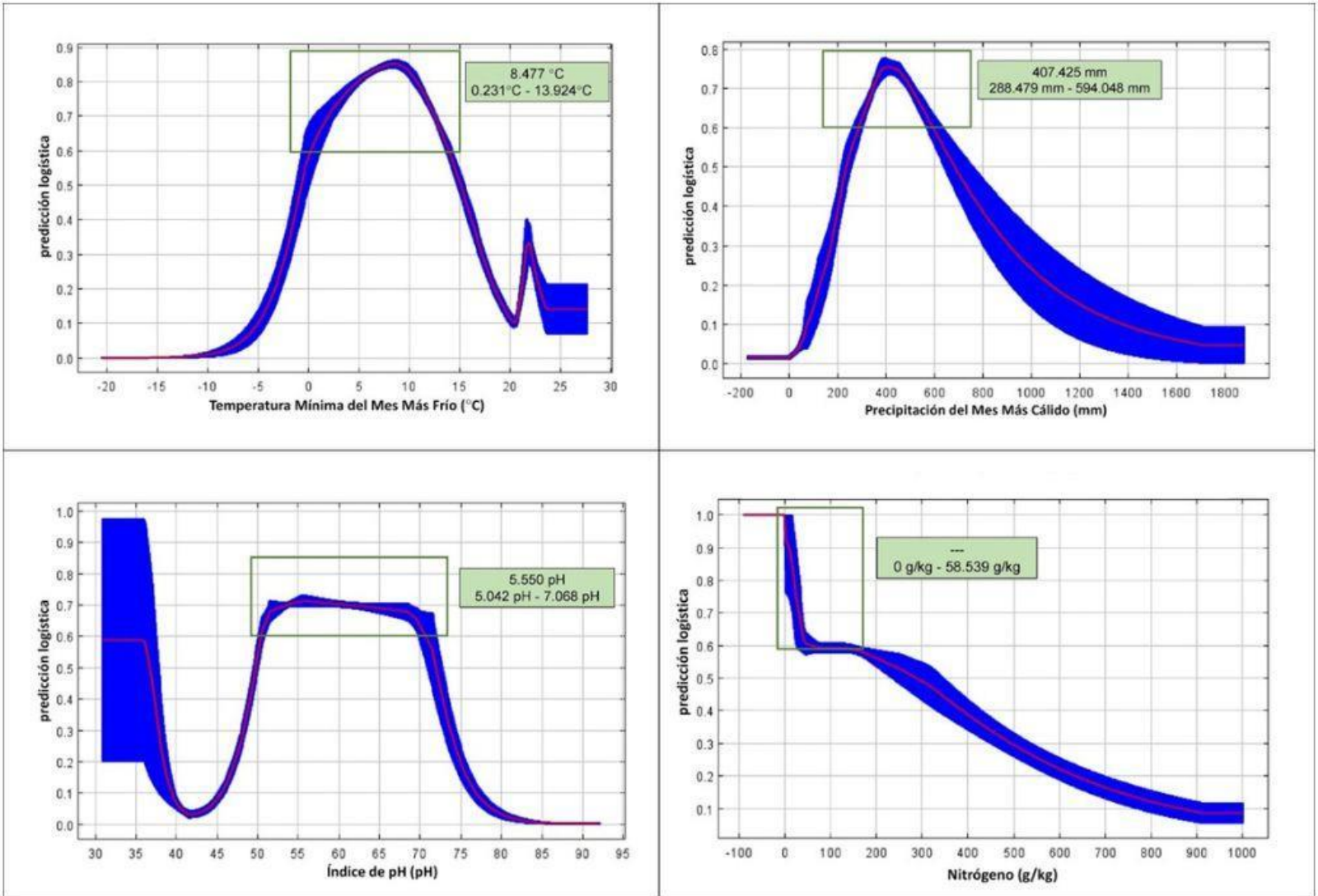
**Tabla 3.** Valores óptimos de cada variable bioclimática al MNE de *Elionurus muticus* para el Modelo de Circulación Global (MCG) MRI-ESM2-0 para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) 2.6 (mitigación) y 8.5 (pesimista) durante tres períodos de tiempo (2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100).

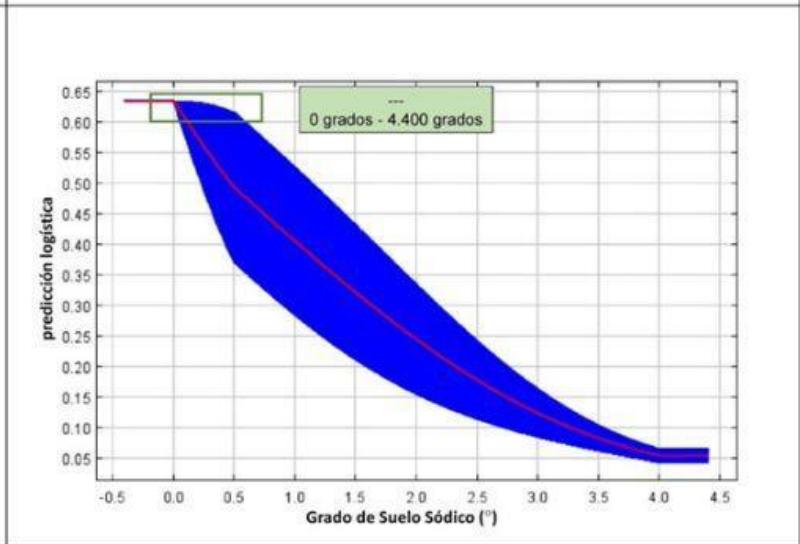
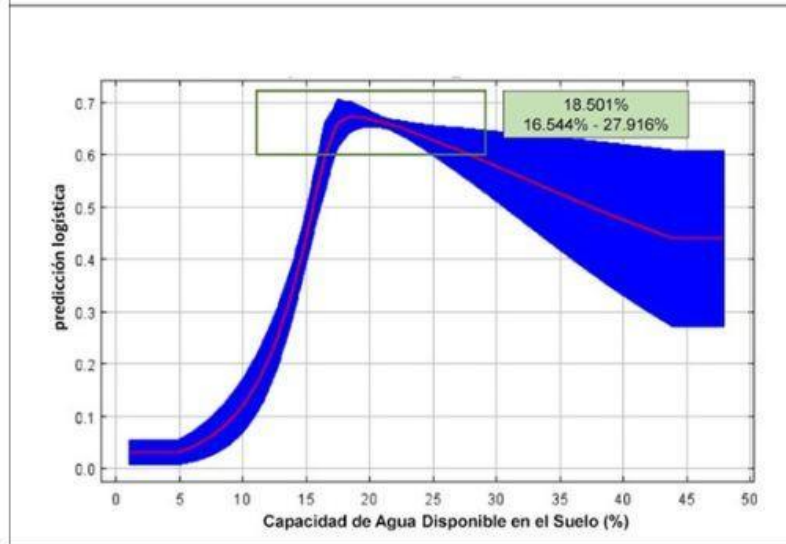
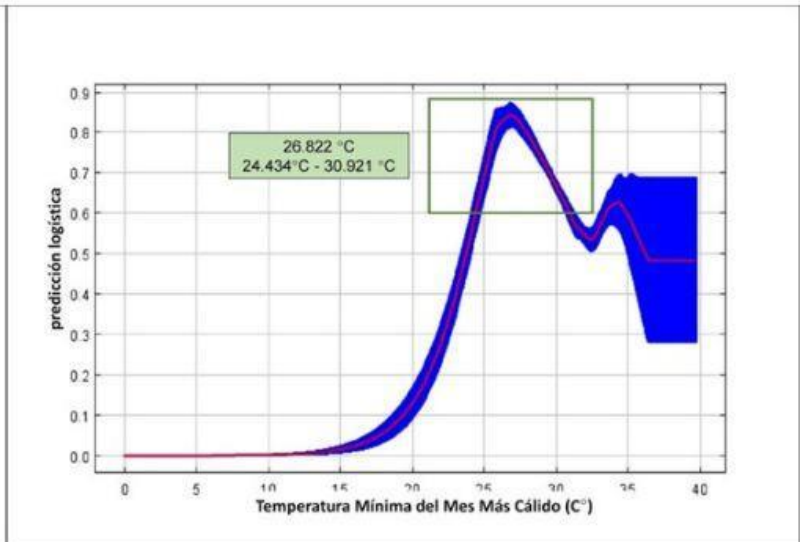
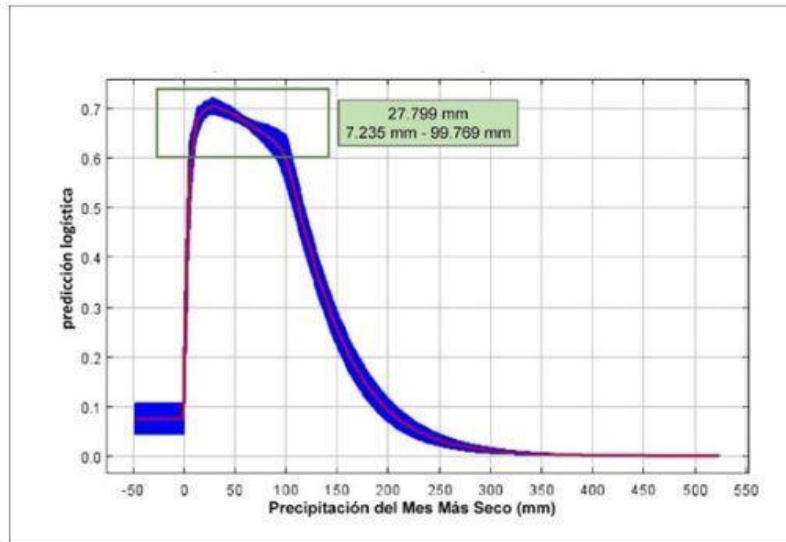
VARIABLES	ESMR 2					
	MITIGACIÓN SSP1-2.6			PESIMISTA SSP5-8.5		
	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2041-2060	2061-2080	2081-2100
<b>BIO 5</b>	26,66°C	26,67°C	25,73°C	26,626°C	26,52°C	25,92°C
<b>BIO 6</b>	8,528°C	9,042°C	8,85°C	7,82°C	8,32°C	9,20°C
<b>BIO 14</b>	27,11 mm	67,83 mm	40,20 mm	35,23 mm	33,98 mm	42,66 mm
<b>BIO 15</b>	17,20 mm	5,97 mm	9,71 mm	22,00 mm	18,09 mm	16,00 mm
<b>BIO 17</b>	85,82 mm	185,42 mm	148,13 mm	152,64 mm	151,84 mm	154,44 mm
<b>BIO 18</b>	415,57 mm	409,84 mm	411,04 mm	414,95 mm	393,59 mm	417,91 mm
<b>BIO 19</b>	73,85 mm	215,20 mm	120,38 mm	49,72 mm	133,21 mm	138,97 mm

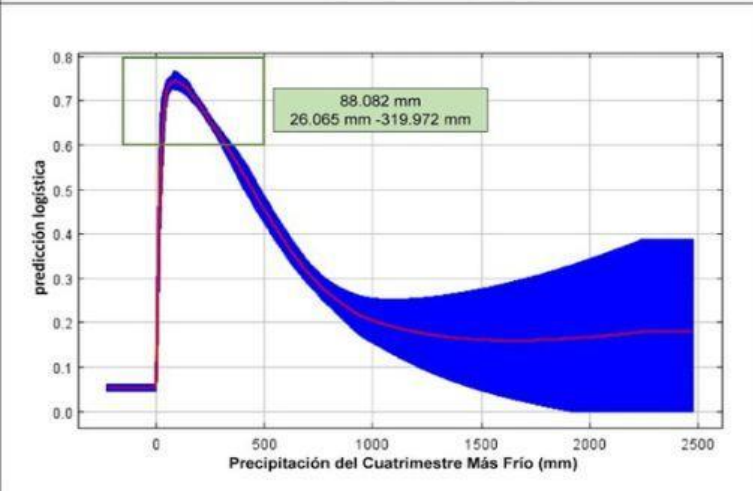
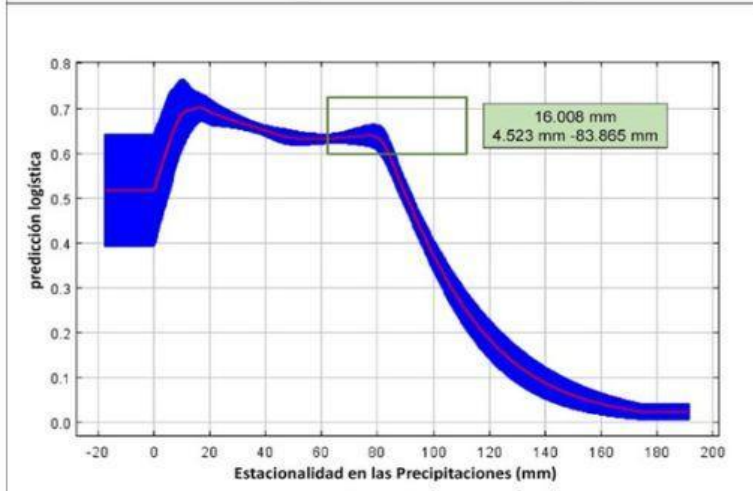
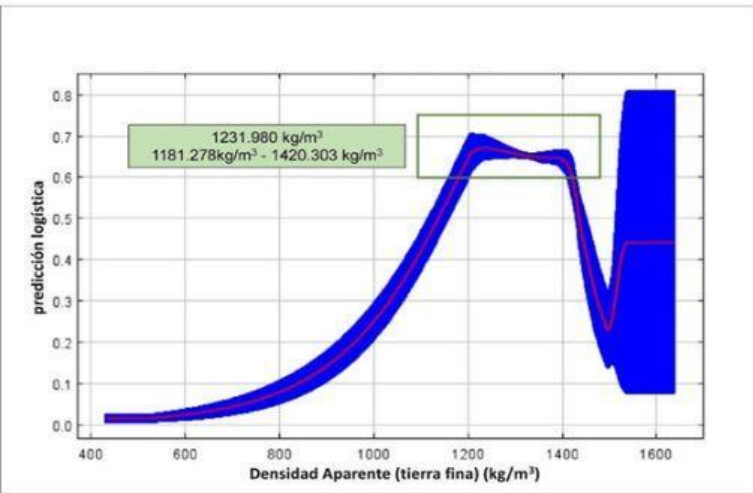
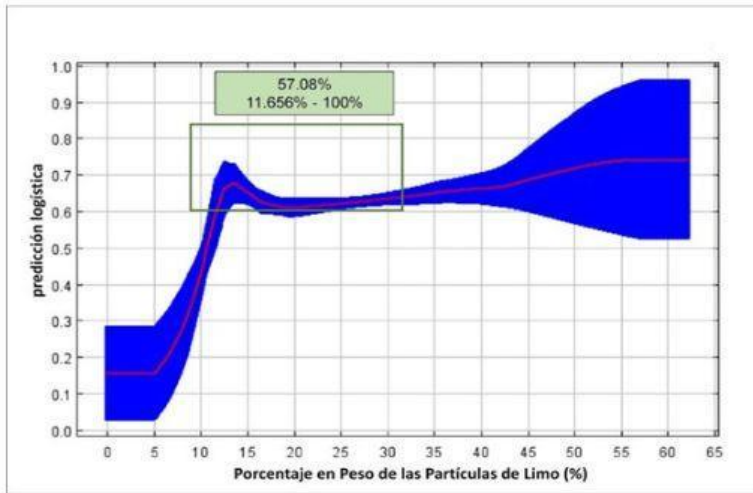


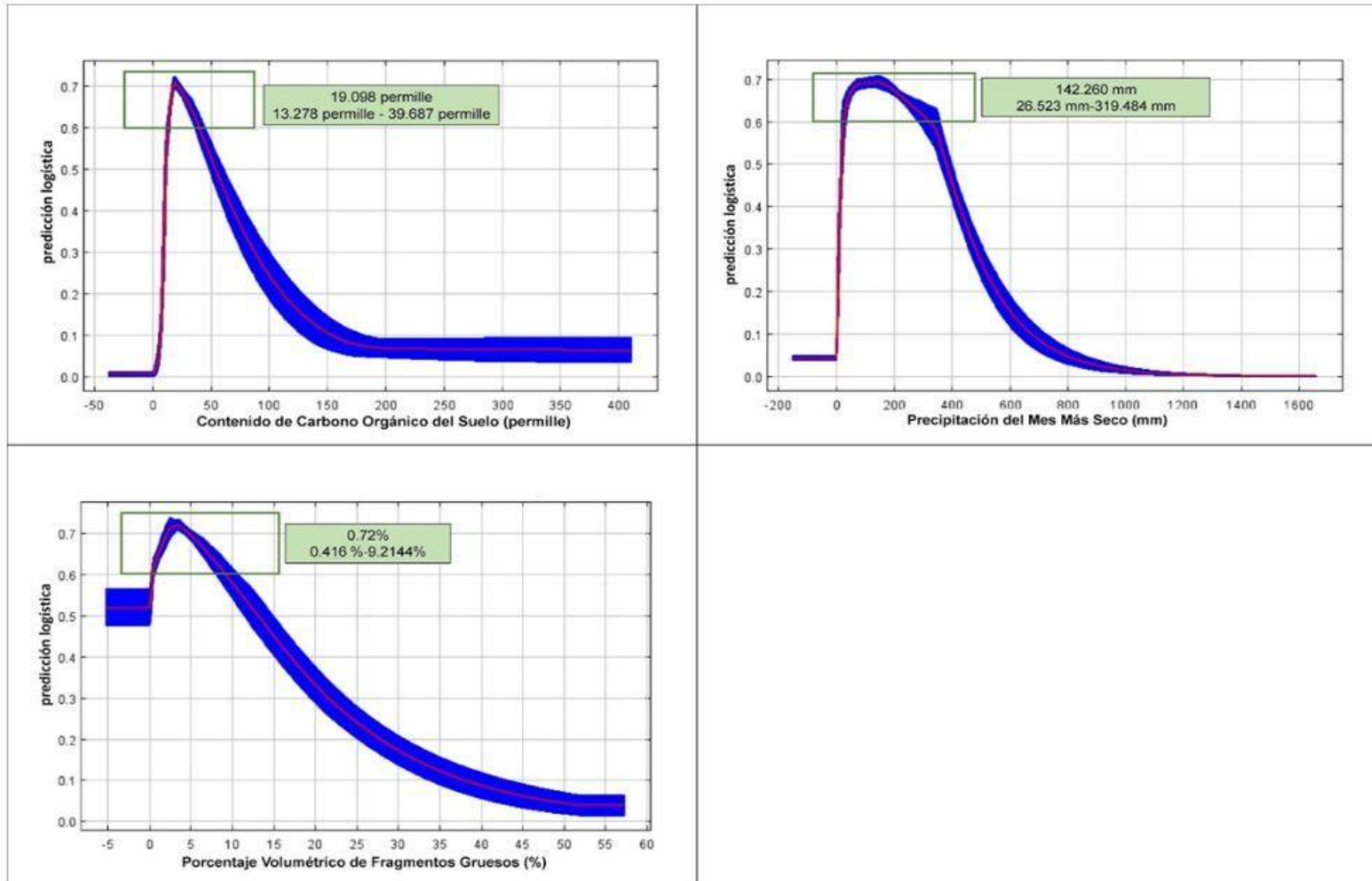
**Figura 1.** Área de distribución de *E. muticus* sobre mapa con las 10 clases de uso y cobertura de suelo derivado de las imágenes de ESRI 2020 Global Land Use Land Cover de Sentinel-2 de la ESA. La capa Matorral/ Arbusto se encuentra unificada a la capa Pastizales en los archivos trabajados.











**Figura 2.** Curvas de respuesta de *Elionurus muticus* a las variables bioclimáticas y edáficas utilizadas para el MNE presente. La línea roja muestra la respuesta media de las 10 réplicas de MaxEnt y en azul la media +/- una desviación estándar. En el cuadro de texto con fondo verde se muestra el valor óptimo de cada variable, con sus respectivos rangos. El rectángulo verde enmarca estos valores en el gráfico.

## Evaluación de la Directora y Co-Directora

La alumna Camila Bagliani ha realizado el TFG con responsabilidad e iniciativa, llevando cabo todas las tareas propuestas en el plan presentado oportunamente y demostrado un gran interés por formarse y capacitarse.

En el marco de sus investigaciones realizó prácticas tendientes a adquirir destrezas en el uso de los programas QGIS, MaxEnt y RStudio, así como para la obtención de datos georeferenciados y bioclimáticos de las bases GBIF y WorldClim, respectivamente. Confeccionó las bases de datos y llevó a cabo análisis estadísticos a fin de seleccionar las variables bioclimáticas a utilizar en los modelados. Cabe destacar la minuciosidad del trabajo realizado.

Los resultados a los que arribó son de gran interés tanto desde un punto de vista básico como aplicado, además de contribuir a los trabajos en curso del grupo de investigación.

Los resultados de este TFG serán presentados en la XXVIII Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2023 de la UNNE.

Por los motivos antes expuestos, consideramos que el desempeño de la alumna Camila Bagliani ha sido **muy satisfactorio**.

## Descripción de las actividades

A lo largo de la elaboración del presente Trabajo Final de Graduación, se llevó a cabo el modelado de nicho ecológico del *Elionurus muticus* (Poaceae), especie con uso medicinal e industrial potencial.

A continuación, se describen las actividades realizadas por la alumna Ma. Camila Bagliani:

- Búsqueda de datos georreferenciados en bases de datos públicas y material de herbario en conjunto con un proceso y depuración de los puntos de ocurrencia
- Aprendizaje y adquisición de destrezas en el uso de los programas QGIS, MaxEnt y RStudio.
- Modelado de nicho ecológico bajo las condiciones climáticas, características edáficas, cobertura y uso del suelo del presente.
- Modelado de nicho ecológico proyectado a diferentes escenarios futuros.
- Determinación de los requerimientos ecológicos de la especie.
- Redacción del manuscrito del Trabajo Final de Graduación
- Presentación de resultados:

-XXVIII Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2023

# Obstáculos y dificultades en el desarrollo del plan

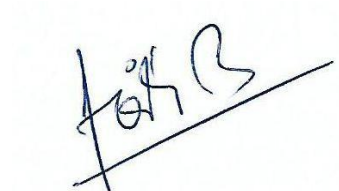
Durante el desarrollo del plan de trabajo, las dificultades que se presentaron fueron inherente al manejo de los softwares especializados.

## Firmas



Dra. Ercilia M.S. Moreno

*Directora*



Dra. Viviana G. Solís Neffa

*Co-Directora*