

Artículo de investigación

## Abejas carpinteras del género *Manuelia* (Apidae, Xylocopinae): vislumbrando la distribución de este taxón en Suramérica

## Carpenter bees of the genus *Manuelia* (Apidae, Xylocopinae): shedding light on the distribution of this taxon in South America

Karen T. Ciendua<sup>1</sup> , Juan E. Carvajal-Cogollo<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia, juancarvajalc@gmail.com.

\* Autor por correspondencia: karen.castro02@uptc.edu.co

**Recibido:** 05 de diciembre 2024. **Revisado:** 11 de julio 2025. **Aceptado:** 22 de septiembre 2025

**Editor Asociado:** María Isabel Arnaldos Sanabria

**Citación:** Ciendua, K. T. y Carvajal-Cogollo, J. E. (2025). Abejas carpinteras del género *Manuelia* (apidae, xylocopinae): vislumbrando la distribución de este taxón en Sudamérica. *Acta Biol. Colomb.*, 30(3), 35-45 <https://doi.org/10.15446/abc.v30n3.117891>

### RESUMEN

Comprender los patrones de distribución de las especies es esencial para predecir su respuesta ante cambios ambientales, especialmente en grupos con roles ecológicos clave, como las abejas. Este estudio tuvo como objetivo modelar la distribución actual y futura de las abejas del género *Manuelia* (*M. gayi*, *M. gayatina* y *M. postica*), un grupo de especies solitarias y endémicas del sur de Suramérica, para identificar sus áreas de idoneidad climática bajo escenarios de cambio climático. Se utilizaron modelos de distribución de especies (MDE) mediante el algoritmo Maxent, utilizando registros de ocurrencia depurados y variables bioclimáticas relevantes. Los modelos se calibraron sobre áreas accesibles específicas para cada especie y se proyectaron escenarios futuros (2061–2080) bajo los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5 del modelo MIROC6. Las variables predictoras más influyentes fueron térmicas: temperatura media anual, temperatura mínima del mes más frío y rango térmico anual. Los resultados evidenciaron patrones contrastantes: *M. gayi* y *M. gayatina* presentaron expansiones moderadas de su distribución potencial, mientras que *M. postica* mostró una contracción significativa, especialmente en el escenario más pesimista. Las mayores áreas de riqueza proyectada se localizaron en el sur de Chile. En conjunto, estos resultados sugieren que el cambio climático podría alterar sustancialmente los patrones de distribución del género *Manuelia*, afectando su persistencia local y la conservación de estas especies poco conocidas. Este estudio constituye el primer esfuerzo de modelación para el género y aporta una base para orientar estrategias de conservación ante un contexto ambiental en rápida transformación.

**Palabras clave:** Conservación de la biodiversidad, nicho ecológico, idoneidad del hábitat, macroecología, modelado de distribución de especies.

### ABSTRACT

Understanding species distribution patterns is essential for predicting their responses to environmental changes, especially in groups with key ecological roles, such as bees. This study aimed to model the current and future distribution of bees from the genus *Manuelia* (*M. gayi*, *M. gayatina*, and *M. postica*), a group of solitary and endemic species from southern South America, to identify areas of climatic suitability under climate change scenarios. Species Distribution Models (SDMs) were developed using the Maxent algorithm, based on curated occurrence records and ecologically relevant bioclimatic variables. Models were calibrated within species-specific accessible areas and projected for future scenarios (2061–2080) under the MIROC6 model and the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 climate pathways. The most influential predictors were thermal variables: mean annual temperature, minimum temperature of the coldest month, and annual temperature range. The results showed contrasting patterns: *M. gayi* and *M. gayatina* exhibited moderate expansions of their potential distribution, whereas *M. postica* experienced a marked contraction, particularly under the most pessimistic scenario. The highest projected species richness areas were concentrated in southern Chile. Overall, these findings suggest that climate change could substantially alter the distribution patterns of the genus *Manuelia*, affecting its local persistence and the conservation of these little-known species. This study represents the first modeling effort for the genus and provides a foundation to guide conservation strategies in the face of rapid environmental change.



**Keywords:** Biodiversity conservation, Ecological niche, Habitat suitability, Macroecology, Species distribution modeling.

## INTRODUCCIÓN

La distribución geográfica de las especies se define como el área en la cual una o varias especies interactúan durante un intervalo temporal con su ecosistema (Guisan y Thuiller, 2005) y es influenciada por factores ecológicos, fisiológicos y por su entorno biótico y abiótico (Meier *et al.*, 2010) como el clima, el tipo de hábitat, las barreras geográficas y las interacciones interespecíficas (Engler *et al.*, 2004; Guisan y Thuiller, 2005). Esta distribución implica la identificación de patrones, procesos y mecanismos, asociados a su presencia en un espacio geográfico con características específicas (Ferrer-Paris *et al.*, 2014) y del papel de los elementos históricos y biogeográficos de las regiones habitadas para generar condiciones que promueven patrones particulares de riqueza y composición, frecuentemente ligados a gradientes ambientales (Hawkins *et al.*, 2008).

El análisis de los patrones de distribución de las especies es fundamental para los estudios de biodiversidad, ecología y conservación, ya que permiten inferir cómo los taxones se organizan en el espacio y cómo estas distribuciones varían en el tiempo (Warren *et al.*, 2020). También permite determinar cómo las especies se asocian a rangos específicos de temperatura, humedad y radiación, los cuales afectan su fenología y fisiología, y a su vez se relacionan con ubicaciones geográficas particulares (Beaumont *et al.*, 2007).

Para analizar estas dinámicas, los modelos de distribución de especies (MDE) son una herramienta útil, ya que permiten proyectar áreas de hábitat adecuado, incluso con datos de ocurrencia limitados, lo que muchas veces respaldan acciones de conservación (Guisan y Thuiller, 2005; Warren *et al.*, 2020). Estos modelos generan mapas de distribución potencial que pueden ser aplicados tanto a condiciones actuales como a escenarios futuros que evalúen hipótesis sobre efectos de cambio climático (Peterson *et al.*, 2011). Para modelar adecuadamente la distribución potencial de una especie, es fundamental considerar el área accesible o “M”, entendida como la región geográfica que ha sido históricamente accesible para la especie, dadas sus capacidades de dispersión y las barreras ecológicas o geográficas (Salazar-Miranda *et al.*, 2024). Esta región representa el contexto espacial sobre el cual se calibran los modelos de distribución y permite restringir las predicciones a escenarios realistas desde el punto de vista biogeográfico (Machado-Stredel *et al.*, 2021).

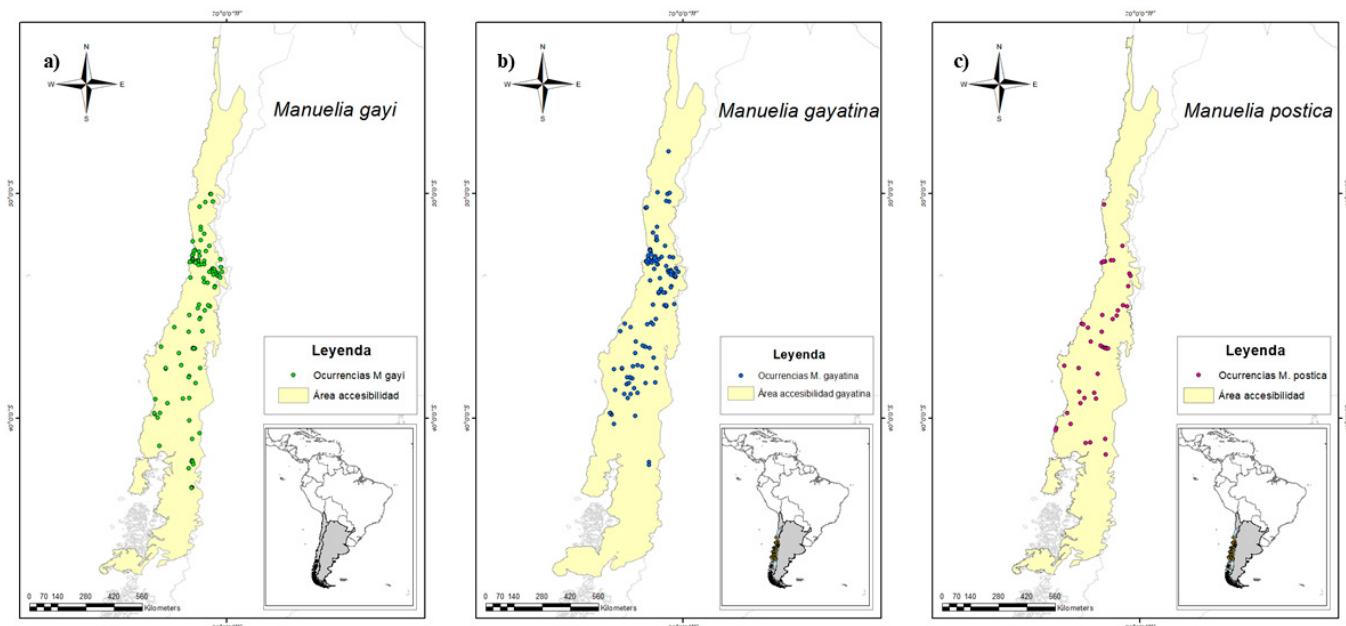
Los efectos del cambio climático sobre la distribución de las especies han sido ampliamente documentados. Se ha observado que muchas especies se han desplazado hacia latitudes y altitudes diferentes de las documentadas en sus datos históricos, como respuesta al calentamiento global (Kharouba *et al.*, 2009). Aunque las tasas futuras de extinción son inciertas, se reconoce que el cambio climático probablemente acelerará estos procesos al reducir la disponibilidad de hábitats adecuados para muchas especies

de la flora y fauna, tales como vertebrados y diversos insectos como las abejas (Jiménez y González, 2021; Huang *et al.*, 2022; Salazar-Miranda *et al.*, 2024)

Las abejas son insectos que se destacan por su importancia ecológica como polinizadoras. Este servicio ecosistémico es esencial para la reproducción sexual de las plantas y contribuye directamente a la diversidad genética de sus semillas (Matias *et al.*, 2017). En algunos casos, la polinización de cultivos puede ser mantenida exclusivamente por abejas nativas, particularmente cuando existen hábitats naturales cercanos a las áreas agrícolas (Antonio *et al.*, 2025). Las abejas también son organismos sensibles a los cambios ambientales y requieren condiciones específicas para alimentarse, recolectar recursos y mantener sus nidos (Klein *et al.*, 2017; Burdine y McCluney, 2019).

Entre las abejas nativas de Suramérica, se encuentra la subfamilia Xylocopinae, con cuatro tribus: Xylocopini, Manuelaeni, Allodapini y Ceratinini, que constituyen un grupo monofilético de abejas xilófilas (Sless *et al.*, 2024). Este grupo exhibe una amplia diversidad de estrategias sociales; por ejemplo, las especies de Xylocopini son parasociales sin alcanzar eusocialidad, Allodapini es social desde taxones ancestrales sin reverisiones a la vida solitaria (Fernández y Nates, 1985; Michener, 1990). Por su parte, Ceratinini, incluye especies solitarias y eusociales (Sless *et al.*, 2024) y la tribu Manuelaeni, representada por el género *Manuelia* con tres especies actuales, *Manuelia gayi*, *Manuelia postica* y *Manuelia gayatina*, son considerados insectos de vida solitaria (Ferreira *et al.*, 2024). Estas especies tienen una distribución restringida al centro y sur de Chile en la región del Maule y en la región de Los Lagos en Argentina (Schlindwein *et al.*, 2003). A pesar de su distribución geográfica restringida y de su aparente endemismo, aún se conoce poco sobre los factores ecológicos y ambientales que determinan la presencia de las especies del género *Manuelia*. Esta falta de información dificulta la comprensión de su ecología y limita la posibilidad de anticipar cómo responderían frente a cambios ambientales futuros (Huang *et al.*, 2022).

El objetivo de la investigación fue identificar los patrones de distribución actual y futura de las especies del género *Manuelia*, así como las variables ambientales que condicionan su presencia. Se parte de la premisa de que la distribución restringida actual de las especies del género se verá modificada por los escenarios proyectados de cambio climático, que podrían generar contracciones, expansiones o desplazamientos en la distribución según la especie. Asimismo, la distribución estará determinada por factores climáticos, como la temperatura y la precipitación (Kumara *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2022), los cuales inciden directamente en la ecología de la mayoría de las abejas. En particular, se espera que las zonas australes de Chile presenten una mayor



**Figura 1.** Áreas accesibles delimitadas para las especies del género *Manuelia* (*M. postica*, *M. gayi* y *M. gayatina*), con base en ecorregiones de Suramérica.

idoneidad de hábitat, debido a sus condiciones climáticas potencialmente más favorables para estas especies. Sin embargo, bajo escenarios de cambio climático se proyectan cambios en la extensión y localización de las áreas idóneas para las especies del género, lo que podría comprometer la estabilidad de sus patrones de distribución actuales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Registros de presencia para las especies de *Manuelia*

Se recopilaron registros de presencia de las especies *Manuelia gayi*, *M. gayatina* y *M. postica* documentadas en el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF.org, 2025a, 2025b, 2025c). Se depuraron taxonómicamente los datos obtenidos, en donde se consideraron únicamente los registros correspondientes a especímenes preservados y revisados por curadores taxonómicos, lo que aseguró su correcta identificación (Sless *et al.*, 2024). Posteriormente, se realizó una depuración a nivel espacial, se eliminaron los registros duplicados por localidad, aquellos con coordenadas inválidas, duplicadas, con valor 0 o georreferenciados en centroides de unidades administrativas como municipios, provincias o países. Los registros restantes fueron cartografiados en el programa ArcGIS 10.8 (Environmental Systems Research Institute [Esri], 2020) con el fin de verificar que su ubicación coincidiera con la distribución conocida de las especies y descartar posibles errores de georreferenciación, como localizaciones en cuerpos de agua. Inicialmente se obtuvieron 3457 registros, de los cuales 3025 fueron eliminados durante el proceso

de depuración. Finalmente, se obtuvieron 432 registros distribuidos así: *M. postica* ( $n = 99$ ), *M. gayatina* ( $n = 153$ ) y *M. gayi* ( $n = 180$ ).

### Áreas accesibles y variables bioclimáticas

Para definir el área accesible de cada especie, los registros de presencia se proyectaron sobre el mapa de ecorregiones terrestres de WWF (Olson *et al.*, 2001). En el caso de *Manuelia postica*, todos los registros se ubicaron dentro de las ecorregiones Matorral chileno y Bosques templados valdivianos, por lo cual estas fueron consideradas como su área accesible. Para *M. gayi* y *M. gayatina*, aunque la mayoría de los registros también se encontraron en esas dos ecorregiones, algunos puntos adicionales se localizaron en la zona norte de la Estepa Patagónica, en áreas cercanas al límite con el Matorral chileno. Dado que la Estepa Patagónica abarca una gran extensión y podría generar una caracterización ambiental demasiado amplia, se optó por no incluirla en su totalidad como parte del área accesible. En su lugar, se aplicó un buffer de 8 km alrededor de estos registros específicos, para capturar las condiciones del entorno inmediato, sin incorporar toda la ecorregión y así evitar sobreestimaciones del área accesible para estas especies (Fig. 1).

Para los modelos, se consideraron 19 variables bioclimáticas para los escenarios actuales y futuros (2061-2080) de WorldClim versión 2 (Fick and Hijmans, 2017). Estas variables se descargaron en formato ráster a una resolución espacial de cinco minutos. Las variables bio8, bio9, bio18 y bio19 fueron excluidas del análisis debido a la presencia de artefactos espaciales conocidos, tal como lo señala Booth (2022).

Se realizó un análisis de correlación de Spearman para identificar y excluir variables altamente correlacionadas ( $r \geq 0.80$ ), para minimizar problemas de colinealidad entre variables climáticas (Elith *et al.*, 2011). La selección de variables se realizó de forma individual para cada especie, por lo que las variables utilizadas en los modelos variaron entre ellas (Fig. 2). La elección respondió a criterios ecológicos que relacionan los requerimientos fisiológicos de las especies con las condiciones ambientales (Tabla 1). Finalmente, las capas bioclimáticas seleccionadas se recortaron según el área accesible definida para cada especie.

### Modelos actuales y futuros de distribución de especies

Para desarrollar modelos de distribución de especies (SDMs) actuales y futuros se utilizó Maxent 3.4.1 (Phillips *et al.* 2006). Este algoritmo es robusto y proporciona resultados informativos a partir de datos de presencia de la especie y del entorno (Peterson *et al.*, 2011). Es un modelo correlativo que encuentra áreas adecuadas según la distribución de máxima entropía basada en los registros de presencia de las especies (Phillips *et al.* 2006). Los registros totales de cada especie se dividieron en subconjuntos de entrenamiento (70 %) y prueba (30 %), para calibrar y evaluar los modelos, respectivamente.

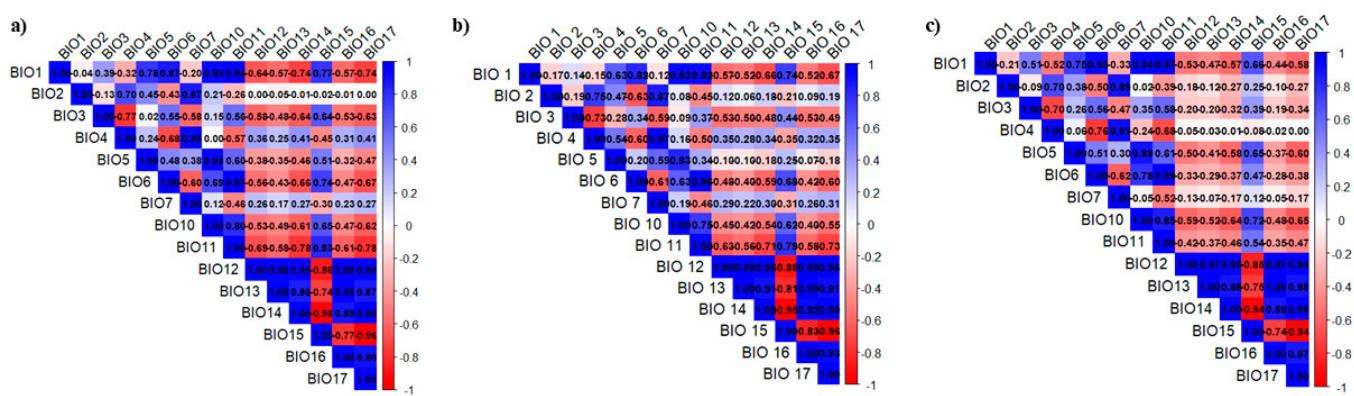
Los parámetros para ejecutar el algoritmo Maxent se determinaron con el paquete Kuenm en R (Cobos *et al.* 2019), con el cual se evaluaron varias parametrizaciones de los modelos, se consideraron las clases de variables, el multiplicador de regularización y un único conjunto de variables.

Se realizaron cinco combinaciones de funciones utilizadas en el algoritmo Maxent lineal (l), cuadrática (q), lineal-cuadrática (lq), lineal-cuadrática-producto (lqp) y lineal-producto (lp). Además, se exploraron cinco valores del multiplicador de regularización: 0.1, 0.5, 1, 2 y 5. Para la evaluación de los modelos candidatos, se empleó un umbral del 5 % y se retuvo el 50 % de los registros para pruebas aleatorias, con 500 iteraciones. La selección del mejor modelo se basó en la tasa de omisión OR (omission rate)

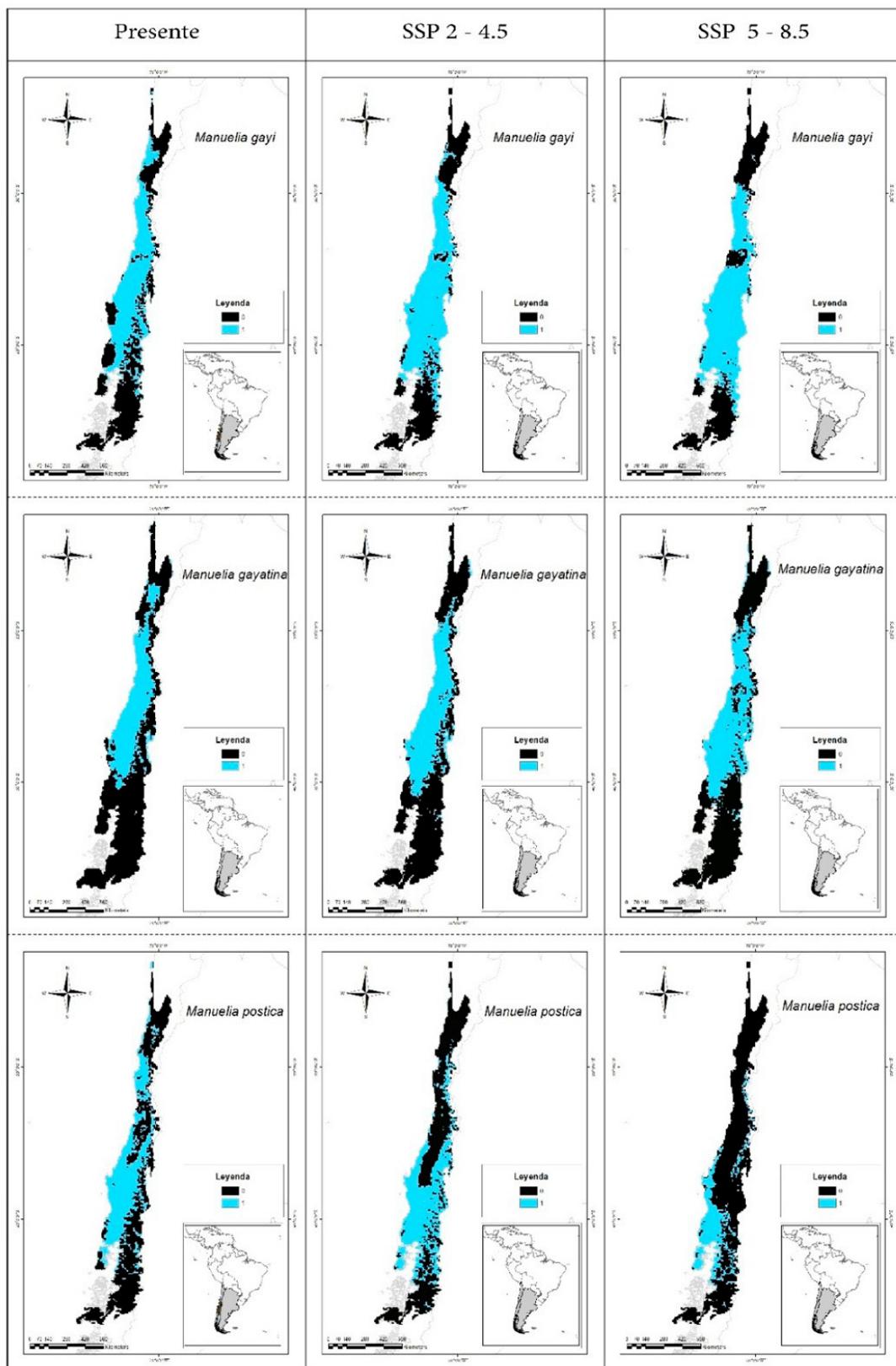
y el criterio de información de Akaike (AICc). Los modelos finales se generaron con diez réplicas mediante remuestreo tipo Bootstrap y se proyectaron sobre las variables ambientales actuales y futuras en formato *cloglog*.

Una vez generadas las diez réplicas del modelo para cada especie, se utilizó el promedio (media) de estas réplicas como indicador de la idoneidad promedio del hábitat, lo cual permitió obtener una estimación más estable del patrón general de distribución. Luego, se aplicó un umbral de corte para todos los modelos finales al 10 percentile training presence del conjunto de entrenamiento, con el fin de generar modelos binarios de distribución (presencia = 1, ausencia = 0). Este criterio de umbral se utilizó para minimizar las predicciones excesivas en los mapas de salida y permitir una mejor recuperación de los rangos de las especies (Liu *et al.* 2013). Finalmente, como parte del análisis espacial, se elaboró un mapa de riqueza del género *Manuelia* mediante la superposición visual de las distribuciones potenciales de sus tres especies. Esta representación permitió identificar áreas de coincidencia espacial entre especies, lo que facilitó una aproximación a la distribución potencial del género en su conjunto.

Para las proyecciones climáticas futuras de los Modelos de Distribución de Especies (SDMs), se utilizó el modelo de circulación general MIROC6 (Model for Interdisciplinary Research on Climate, versión 6). Este modelo se seleccionó por su buen desempeño en la simulación de variables climáticas clave, como temperatura y precipitación, en regiones tropicales y templadas del hemisferio sur (Salazar *et al.*, 2007). Además, MIROC6 ha mostrado una mejora en la representación de procesos atmosféricos y oceánicos respecto a versiones anteriores, lo que permite obtener estimaciones más precisas de los escenarios futuros de cambio climático (Graham y Hijmans, 2006). Estas características lo hacen particularmente adecuado para modelar la distribución de especies con rangos restringidos, como es el caso de las especies del género *Manuelia*, cuya distribución está asociada a gradientes climáticos específicos en ecosistemas suramericanos.



**Figura 2.** Matrices de correlación de Spearman entre las variables bioclimáticas consideradas para a) *Manuelia gayi*, b) *Manuelia gayatina* y c) *Manuelia postica*. Se excluyeron las variables con  $r \geq 0.80$  para reducir la colinealidad.



**Figura 3.** Modelos de distribución de especies (SDMs) actuales y proyectados (2061-2080) bajo dos escenarios de cambio climático (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) para tres especies de abejas carpinteras: *M. gayi*, *M. gayatina* y *M. postica*. a) Distribución actual, b) Escenario SSP2-4.5 y c) Escenario SSP5-8.5.

**Tabla 1.** Justificación ecológica para la selección de variables bioclimáticas utilizadas en los modelos de distribución de *Manuelia*.

Variable	Justificación ecológica
bio1 – Temperatura media anual	Influye en la actividad, el ciclo de vida y la duración del período de forrajeo, debido a la ectotermia de las abejas.
bio2 – Rango de temperatura media diurna	Las fluctuaciones diarias afectan el comportamiento y horarios de actividad.
bio3 – Isotermalidad	Representa estabilidad térmica; condiciones más estables reducen el estrés climático.
bio4 – Estacionalidad de la temperatura	Afecta la floración y disponibilidad de recursos a lo largo del año.
bio5 – Temp. máxima del mes más cálido	Impacta la floración y la oferta de néctar en los meses críticos.
bio6 – Temp. mínima del mes más frío	Determina la supervivencia en invierno y la latencia de las abejas.
bio7 – Rango anual de temperatura	Refleja la variación térmica anual, relevante para la disponibilidad de recursos.
bio10 – Temp. media del trimestre más cálido	Influye en la reproducción, floración y productividad vegetal.
bio11 – Temp. media del trimestre más frío	Afecta la emergencia, viabilidad de nidos y rangos altitudinales.
bio14 – Precipitación del mes más seco	Afecta la oferta floral y disponibilidad de agua.
bio15 – Estacionalidad de la precipitación	Relacionada con el ritmo de floración y la dieta de las abejas.

Para las modelaciones futuras, se tuvieron en cuenta dos escenarios de cambio climático: las Vías Socioeconómicas Compartidas SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (Nájera González *et al.*, 2023). Estas trayectorias representan proyecciones globales sobre políticas internacionales con relación a la sostenibilidad ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero. El escenario SSP2-4.5, considerado un “punto medio”, asume un mundo en el que se realizan esfuerzos moderados y graduales hacia el desarrollo sostenible. En contraste, el escenario SSP5-8.5 representa un panorama más pesimista, caracterizado por un aumento continuo de las emisiones y desafíos significativos en la cooperación internacional y el manejo ambiental. La elección de estos dos escenarios se basó en la intención de capturar un rango representativo de posibles futuros climáticos, desde uno más optimista hasta otro más desfavorable (Salazar-Miranda *et al.*, 2024).

Se generaron modelos de distribución de especies (SDMs) para las tres especies del género *Manuelia* bajo condiciones climáticas actuales y futuras. Para cada especie se obtuvo un modelo actual y dos modelos futuros correspondientes a los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, proyectados para el periodo 2061–2080. En total, se generaron nueve modelos (tres actuales y seis futuros). Para evaluar los posibles cambios en la idoneidad del hábitat, se calcularon las diferencias en el número de píxeles entre los modelos actuales y futuros, y se determinaron así las áreas potencialmente ganadas, perdidas o estables.

## RESULTADOS

El modelo de distribución potencial para *Manuelia gayi* indicó un patrón de expansión de su área climáticamente idónea bajo escenarios de cambio climático. En el escenario actual, la especie presenta una superficie idónea correspondiente a 2759 píxeles. Bajo el escenario SSP2-4.5 (proyección intermedia), el área idónea se incrementa a 3447 píxeles, lo que representa un aumento del 24.94 %. En

el escenario pesimista (SSP 5-8.5), el área idónea asciende a 3483 píxeles, correspondiente a un incremento del 26.24 % respecto a la distribución actual. No se identificaron áreas de pérdida de idoneidad climática respecto al presente (Fig. 3).

Para *Manuelia gayatina*, el modelo de distribución potencial en el escenario actual mostró 2.380 píxeles correspondientes a áreas climáticamente idóneas. Bajo el escenario climático SSP 2-4.5 (intermedio), se proyectó una expansión moderada de estas áreas hasta de 2.630 píxeles, lo que representó un aumento del 10,50 %. En contraste, bajo el escenario pesimista (SSP5-8.5), se evidenció una expansión adicional del rango potencial de 2.793 píxeles, lo que corresponde a un incremento del 17,35 % respecto al modelo actual (Fig.3).

En el caso de *Manuelia postica*, se observó una tendencia contraria a la registrada para *M. gayi* y *M. gayatina*, ya que esta especie presenta una reducción de las áreas climáticamente idóneas en los escenarios futuros. En el modelo actual, la especie cuenta con 2.565 píxeles con condiciones adecuadas y bajo el escenario SSP 2-4.5 se evidenció una disminución a 2.533 píxeles, lo que representó una pérdida del 1,25 %. La disminución se intensifica notablemente en el escenario SSP 5-8.5, en el cual las áreas idóneas se reducen a 1.344 píxeles, con una pérdida neta del 47,60 % respecto a la distribución actual (Fig.3).

Las variables con mayor contribución a los modelos de distribución de las especies del género *Manuelia* estuvieron asociadas principalmente a factores térmicos. En *M. postica*, la temperatura mínima del mes más frío (bio6) fue la variable de mayor influencia, seguida de la temperatura media anual (bio1) y la amplitud térmica anual (bio7). En *M. gayatina*, las variables más importantes fueron la temperatura media anual (bio1), la amplitud térmica anual (bio7) y la temperatura mínima del mes más frío (bio6). En *M. gayi*, la temperatura media anual (bio1), la isotermalidad (bio3) y la estacionalidad de la temperatura (bio4) presentaron las mayores contribuciones. Las zonas con mayor riqueza de

especies del género *Manuelia* se localizaron en el centro y sur del área de accesibilidad (Fig. 4).

## DISCUSIÓN

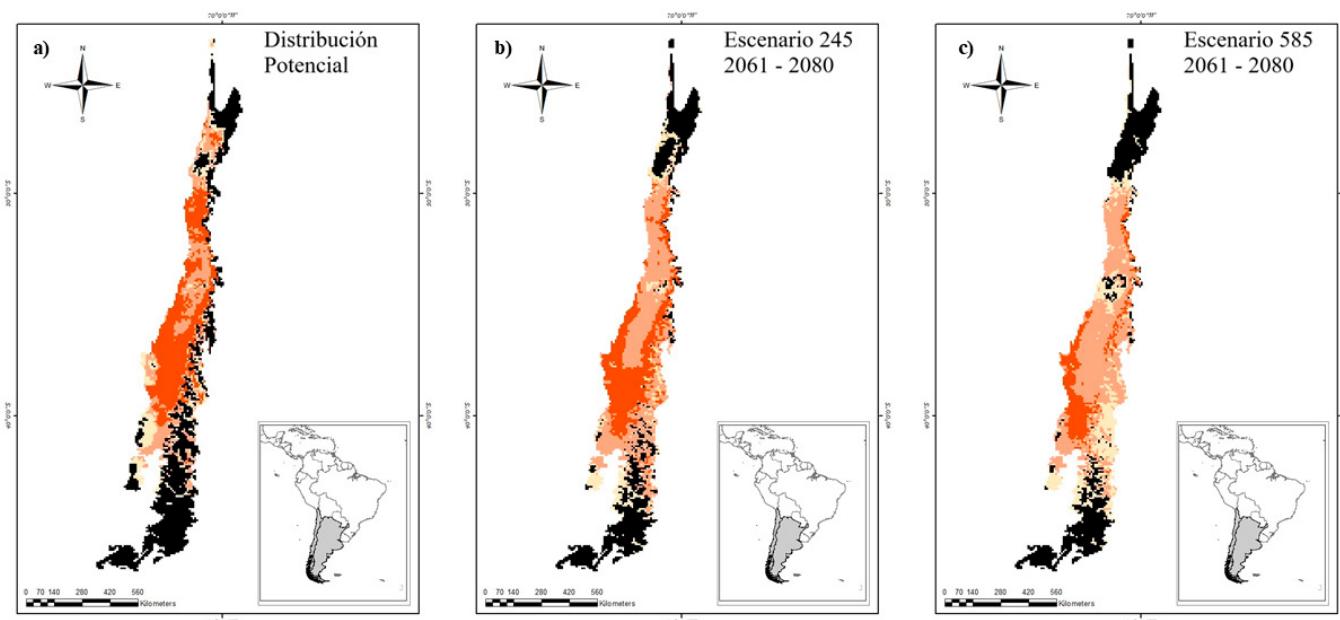
La distribución de las especies del género *Manuelia* en las ecorregiones del matorral chileno, la estepa patagónica y los bosques templados valdivianos reflejan un patrón claro de respuesta a condiciones térmicas específicas, lo que sugiere una sensibilidad marcada a la temperatura media anual y a la variabilidad térmica (Salazar *et al.*, 2007). Estas tres ecorregiones representan áreas clave para el género, aunque las especies muestran una distribución diferenciada según los gradientes climáticos presentes en cada zona (Huang *et al.*, 2022).

El matorral chileno es una zona caracterizada por una fuerte estacionalidad y donde se concentra la mayor área idónea para *M. gayi* y *M. gayatina*. Estas especies muestran alta afinidad por temperaturas medias anuales moderadas y una oscilación térmica intermedia (bio1 y bio7). Este patrón se alinea con lo observado en otros polinizadores adaptados a ambientes templados y estacionales, donde la variabilidad térmica influye tanto en la fenología como en la disponibilidad de recursos florales (Antonio *et al.*, 2025).

La amplitud térmica anual (bio7) fue particularmente relevante en los modelos de *M. gayatina* y *M. postica*, lo que refuerza la hipótesis de que la estabilidad térmica, más que la precipitación, constituye un factor clave en su nicho ecológico (do Nascimento *et al.*, 2023). Esto se ve reflejado en la selección de variables, donde la temperatura

media anual (bio1) resultó ser la variable más consistente e influyente en los tres modelos, lo que sugiere que puede ser un buen descriptor de la distribución climática del género en su conjunto (Mukundamago *et al.*, 2023).

Bajo escenarios de cambio climático, las especies mostraron respuestas diferenciadas. Para *Manuelia gayi* se proyectó una posible ampliación de su rango de distribución, lo cual podría estar asociado a una mayor tolerancia a las nuevas condiciones ambientales (do Nascimento *et al.*, 2023). De forma similar, *M. gayatina* mostró una tendencia general hacia la expansión de su rango climático potencial en todos los escenarios evaluados, aunque con un desplazamiento espacial diferencial: en SSP2-4.5 hacia zonas periféricas del norte del matorral chileno y en SSP5-8.5 hacia sectores más australes. Aunque este patrón de ganancia es compartido con *M. gayi*, el incremento porcentual es menor, lo que refleja diferencias sutiles en sus tolerancias térmicas o requerimientos microclimáticos (Klein *et al.*, 2017). Por el contrario, para *M. postica* se proyecta una distribución restringida y vulnerable, con una fuerte reducción proyectada de área idónea bajo escenarios futuros, particularmente en el SSP5-8.5 donde se pierde aproximadamente el 47 % del área adecuada. Esta contracción ocurre principalmente en la zona central de Chile y podría estar relacionada con su mayor sensibilidad a las temperaturas extremas, como lo indica la alta contribución de la temperatura mínima del mes más frío (bio6). Esto sugiere un posible desplazamiento hacia zonas más húmedas y frías del sur, como los bosques valdivianos, lo que estaría asociado a una baja tolerancia a inviernos más cálidos de lo habitual (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019).



**Figura 4.** Patrón de riqueza del género *Manuelia* en Sudamérica, obtenido a partir de la superposición de las distribuciones potenciales de las tres especies analizadas bajo condiciones climáticas actuales y proyecciones para los escenarios de cambio climático. (a) Distribución potencial actual, b) Escenario SSP2-4.5 (2061-2080) y c) Escenario SSP5-8.5 (2061-2080).

Los nuevos entornos proyectados para las especies no garantizan condiciones óptimas para su persistencia, pues podrían carecer de recursos críticos tales como plantas hospedadoras o estructuras adecuadas para la nidificación (Lucia *et al.*, 2017). La reducción proyectada de más del 50 % del hábitat idóneo para *M. postica* en el escenario extremo plantea un riesgo real para su supervivencia, lo que resalta la urgencia de considerar medidas de conservación específicas y diferenciadas para esta especie.

El análisis de riqueza del género, generado a partir de la superposición de las distribuciones potenciales, aportó una visión integral de las áreas prioritarias para la conservación de *Manuelia*. Bajo condiciones actuales, el matorral chileno constituye el principal núcleo de riqueza. No obstante, las proyecciones bajo escenarios futuros (SSP 2-4.5 y SSP 5-8.5) indican una disminución general en el número de píxeles con presencia de especies, un patrón consistente con la reducción de hábitat reportada para otros taxones sometidos a condiciones climáticas cambiantes (Graham y Hijmans, 2006; Salazar-Miranda *et al.*, 2024). Si bien la representación espacial podría dar la impresión de un desplazamiento del centro de riqueza, los resultados sugieren que se trata principalmente de una pérdida localizada más que de una reubicación real. Además, las dinámicas de pérdida y ganancia muestran que algunas áreas idóneas en el presente dejarán de serlo bajo las proyecciones futuras, mientras que otras actualmente no adecuadas podrían volverse habitables, un patrón reportado también para otros grupos y regiones (do Nascimento *et al.*, 2023), lo que resalta la importancia de considerar la variabilidad espacio-temporal al planificar acciones de conservación.

Respecto a los bosques templados valdivianos, aunque en la actualidad no representan una zona principal de idoneidad, las proyecciones indican que podrían actuar como refugios climáticos futuros para *M. gayatina* y *M. postica*, especialmente bajo escenarios extremos. Esto se debería a sus condiciones térmicas más estables y frescas, que podrían mantenerse dentro del rango térmico tolerado por estas especies (Clusella-Trullas *et al.*, 2011). No obstante, se deben considerar posibles limitantes ecológicas, como la competencia con especies adaptadas a ambientes más húmedos y la disponibilidad de plantas y sustratos adecuados para anidar (Otis *et al.*, 2024).

En síntesis, el género *Manuelia* parece responder de manera especializada a variables térmicas más que hídricas y su distribución potencial futura estará fuertemente condicionada por cambios en la temperatura media anual, la amplitud térmica y las temperaturas mínimas invernales (Antonio *et al.*, 2025). Mientras que *M. gayi* y *M. gayatina* podrían beneficiarse moderadamente de las condiciones proyectadas, *M. postica* enfrenta un escenario de alta vulnerabilidad, lo que subraya la necesidad de estrategias de conservación específicas, como el monitoreo poblacional continuo, la protección de microhábitats

con condiciones térmicas favorables y la conservación de remanentes de vegetación nativa donde la especie aún persiste (Mukundamago *et al.*, 2023). Además, al ser un grupo endémico y polinizador nativo, su pérdida podría tener efectos ecológicos en cascada sobre los ecosistemas semiáridos y templados del centro-sur de Chile (Ferreira *et al.*, 2024). Finalmente, este estudio aporta evidencia valiosa sobre cómo insectos con requerimientos térmicos específicos podrían responder a escenarios futuros de cambio climático, lo que tiene implicaciones relevantes para la ecología y la conservación en el cono sur de Sudamérica (Chaves Ferreira *et al.*, 2024).

## CONCLUSIONES

Este estudio evidenció que las especies del género *Manuelia* tienen una distribución especializada, restringida a ambientes con temperaturas moderadas y oscilaciones térmicas significativas, particularmente en matorrales y estepas frías de la región austral de Suramérica. La idoneidad ambiental está principalmente determinada por la temperatura y la oscilación térmica, factores que determinan la presencia de estas especies en hábitats específicos.

Aunque el género *Manuelia* mostró una alta especialización ecológica, los modelos proyectados indican que, bajo escenarios futuros de cambio climático, la idoneidad ambiental podría aumentar y permitir la expansión de su rango potencial en algunas regiones. No obstante, sería interesante evaluar si los riesgos asociados a la competencia por recursos y la pérdida y fragmentación del hábitat representan una amenaza actual y significativa para su conservación.

Futuros estudios podrían incorporar bases conceptuales de biogeografía predictiva y ecología de la conservación, con el fin de diseñar planes de manejo más efectivos y establecer áreas prioritarias de conservación que mitiguen los impactos del cambio climático y las actividades humanas. Para comprender con mayor precisión los patrones de distribución y los factores que influyen en la presencia de estas especies, se recomienda ampliar el análisis a escalas locales y microclimáticas. Esto permitirá evaluar cómo varían sus distribuciones en hábitats específicos y con factores como las microvariaciones de temperatura y humedad. Un enfoque más detallado podrá aportar información clave sobre las condiciones óptimas en las que prosperan las especies de *Manuelia* y cómo podrían responder a los cambios ambientales a nivel regional y global.

## PARTICIPACIÓN DE AUTORES

KTCC: conceptualización, depuración de datos, análisis formal, investigación, metodología, visualización, redacción – preparación del borrador original, redacción – revisión y edición. JECC: Conceptualización e investigación, supervisión, validación, redacción – revisión y edición.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, la Vicerrectoría de Investigaciones y Extensión, y la Dirección de Investigaciones financiaron esta investigación a través del proyecto “Abejas carpinteras y cambio climático: vislumbrando las respuestas de Xylocopinae (Hymenoptera: Apidae) a escenarios de este fenómeno en Sudamérica” SGI 3655. Carlos Mauricio Moreno y Yolanda Torres brindaron apoyo logístico y administrativo para el desarrollo del proyecto.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores manifiestan no tener ningún tipo de conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- Antonio, A. I., Oliveira Junior, A. C. de, Villalobos, F. and Velazco, S. J. E. (2025). Environmental heterogeneity as a determinant of bee diversity patterns in the Atlantic Forest. *Frontiers of Biogeography*, 18. <https://doi.org/10.21425/fob.18.142410>
- Beaumont, L. J., Pitman, A. J., Poulsen, M. and Hughes, L. (2007). Where will species go? Incorporating new advances in climate modelling into projections of species distributions. *Global Change Biology*, 13(7), 1368–1385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01357.x>
- Booth, T. H. (2022). Checking bioclimatic variables that combine temperature and precipitation data before their use in species distribution models. *Austral Ecology*, 47(7), 1506–1514. <https://doi.org/10.1111/aec.13234>
- Burdine, J. D. and McCluney, K. E. (2019). Differential sensitivity of bees to urbanization-driven changes in body temperature and water content. *Scientific Reports*, 9, 1643. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38338-0>
- Chaves Ferreira, L. A., Giannini, T. C., Vieira Zanella, F. C. and Correia de Albuquerque, P. M. (2024). Floral preferences of carpenter bees (Apidae: Xylocopini: *Xylocopa*) from Maranhão, Northeast Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 59(3), 772–786. <https://doi.org/10.1080/01650521.2023.2265630>
- Clusella-Trullas, S., Blackburn, T. M. and Chown, S. L. (2011). Climatic predictors of temperature performance curve parameters in ectotherms imply complex responses to climate change. *American Naturalist*, 177(6), 738–751. <https://doi.org/10.1086/660021>
- Cobos, M. E., Peterson, A. T., Osorio-Olvera, L. and Jiménez-García, D. (2019). An exhaustive analysis of heuristic methods for variable selection in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Informatics*, 53, 100983. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.100983>
- do Nascimento, A. C., Montalva, J., Lucia, M. and de Paiva Silva, D. (2023). Suitable areas for the invasion expansion of *Xylocopa* bees in South America. *Journal of Applied Entomology*, 147(1), 23–35. <https://doi.org/10.1111/jen.13085>
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E. and Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Engler, R., Guisan, A. and Rechsteiner, L. (2004). An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41(2), 263–274. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00881.x>
- Environmental Systems Research Institute [Esri]. (2020). *ArcGIS Desktop* (Version 10.8) [Computer software]. Environmental Systems Research Institute.
- Fernández, F. y Nates, G. (1985). Hábitos de nidificación en abejas carpinteras del género *Xylocopa* (Hymenoptera: Anthophoridae). *Revista Colombiana de Entomología*, 11(2), 36–41. <https://doi.org/10.25100/socolen.v11i1.10263>
- Ferreira, L. A. C., Giannini, T. C., de Albuquerque, P. M. C. and Zanella, F. C. V. (2024). Carpenter bees (Apidae: Xylocopini: *Xylocopa*) from Maranhão, Northeast Brazil. *Zootaxa*, 5404(1), 14–53. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5404.1.4>
- Ferrer-Paris, J. R., Sánchez-Mercado, A., Rodríguez-Clark, K. M., Rodríguez, J. P. and Rodríguez, G. A. (2014). Using limited data to detect changes in species distributions: Insights from Amazon parrots in Venezuela. *Biological Conservation*, 173, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.07.032>
- Fick, S. E. and Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- GBIF.org. (2025a, 12 de junio). *GBIF occurrence download* (<https://doi.org/10.15468/dl.jm5u3h>). Global Biodiversity Information Facility.
- GBIF.org. (2025b, 12 de junio). *GBIF occurrence download* (<https://doi.org/10.15468/dl.6ech5t>). Global Biodiversity Information Facility.
- GBIF.org. (2025c, 12 de junio). *GBIF occurrence download* (<https://doi.org/10.15468/dl.pe2b35>). Global Biodiversity Information Facility.
- Graham, C. H. and Hijmans, R. J. (2006). A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. *Global Ecology and Biogeography*, 15(6), 578–587. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00257.x>
- Guisan, A. and Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>

- Hawkins, B. A., Rueda, M. and Rodríguez, M. Á. (2008). What do range maps and surveys tell us about diversity patterns? *Folia Geobotanica*, 43(3), 345–355. <https://doi.org/10.1007/s12224-008-9007-8>
- Huang, M. J., Hughes, A. C., Xu, C. Y., Miao, B. G., Gao, J. and Peng, Y. Q. (2022). Mapping the changing distribution of two important pollinating giant honeybees across 21,000 years. *Global Ecology and Conservation*, 39, e02282. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02282>
- Jiménez Salazar, M. Á. , and González, J. M. (2021). Actual and potential distribution of *Pinus engelmannii* Carrière under climate change scenarios. *Madera y Bosques*, 27(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732117>
- Kharouba, H. M., Algar, A. C. and Kerr, J. T. (2009). Historically calibrated predictions of butterfly species range shift using global change as a pseudo-experiment. *Ecology*, 90(8), 2213–2222. <https://doi.org/10.1890/08-1304.1>
- Klein, S., Cabriol, A., Devaud, J. M., Barron, A. B. and Lihoreau, M. (2017). Why bees are so vulnerable to environmental stressors. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(4), 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.009>
- Kumara, H. N., Irfan-Ullah, M. and Kumar, S. (2009). Mapping potential distribution of slender loris subspecies in peninsular India. *Endangered Species Research*, 7(1), 29–38. <https://doi.org/10.3354/esr00185>
- Lucia, M., Tellería, M. C., Ramello, P. J. and Abrahamovich, A. H. (2017). Nesting ecology and floral resource of *Xylocopa augusti* Lepeletier de Saint Fargeau (Hymenoptera, Apidae) in Argentina. *Agricultural and Forest Entomology*, 19(3), 281–293. <https://doi.org/10.1111/afe.12207>
- Machado-Stredel, F., Cobos, M. E. and Peterson, A. T. (2021). A simulation-based method for selecting calibration areas for ecological niche models and species distribution models. *Frontiers of Biogeography*, 13(4). <https://doi.org/10.21425/F5FBG48814>
- Matias, D. M. S., Leventon, J., Rau, A.-L., Borgemeister, C., and von Wehrden, H. (2017). A review of ecosystem service benefits from wild bees across social contexts. *Ambio*, 46(4), 456–467. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0844-z>
- Meier, E. S., Kienast, F., Pearman, P. B., Svenning, J. C., Thuiller, W., Araújo, M. B., Guisan, A. and Zimmermann, N. E. (2010). Biotic and abiotic variables show little redundancy in explaining tree species distributions. *Ecography*, 33(6), 1038–1048. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06229.x>
- Michener, C. D. (1990). Castes in xylocopine bees. *University of Kansas Science Bulletin*, 54, 75–153. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-74490-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-74490-7_7)
- Mukundamago, M., Dube, T., Muderer, B. T., Babin, R., Lattorff, H. M. G. and Tonnang, H. E. Z. (2023). Understanding climate change effects on the potential distribution of an important pollinator species, *Ceratina moerenhouti* (Apidae: Ceratinini), in the Eastern Afromontane biodiversity hotspot, Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth*, 130, 103387. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103387>
- Nájera González, A., Marceleño Flores, S., Chávez-Dagostino, R. M., Nájera González, O. y and Maciel Carrillo González, F. (2023). Vulnerabilidad costera y cambio climático: propuesta metodológica de prospectiva participativa basada en las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP). *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 11(25), 1–19. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2023.25.84853>
- Olson, D., Dinerstein, E., Wikramanayake, E., Burgess, N., Powell, G., Underwood, E., D'Amico, J., Itoua, I., Strand, H., Morrison, J., Loucks, C., Allnutt, T., Ricketts, T., Kura, Y., Lamoreux, J., Wettengel, W., Hedao, P. and Kassem, K. (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. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103387>
- Otis, G. W., Huang, M.-J., Kitnya, N., Sheikh, U. A. A., Faiz, A. ul H., Phung, C. H., Warrit, N., Peng, Y.-Q., Zhou, X., Oo, H. M., Acharya, N. and Devkota, K. (2024). The distribution of *Apis laboriosa* revisited: Range extensions, biogeographic affinities, and species distribution modelling. *Frontiers in Bee Science*. 2. <https://doi.org/10.3389/frbee.2024.1374852>
- Peterson, T., Soberón, J., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. and Araújo, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.23943/princeton/9780691136868.003.0003>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. and Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Salazar, L. F., Nobre, C. A. and Oyama, M. D. (2007). Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34(9), L09708. <https://doi.org/10.1029/2007GL029695>
- Salazar-Miranda, R. I., Toro-Cardona, F. A., Rojas-Soto, O., Sierra-Morales, P., Ríos-Muñoz, C. A. and Almazán-Núñez, R. C. (2024). Critical habitats: climate change and habitat loss as drivers of change in the geographic ranges of Neotropical woodcreepers (Aves: Furnariidae) in Mexico. *Regional Environmental Change*, 24(4). <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02303-7>
- Sánchez-Bayo, F. and Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Schlindwein, C., Schlumpberger, B., Wittmann, D. and Moure, J. S. (2003). O gênero *Xylocopa* Latreille no Rio Grande do Sul, Brasil (Hymenoptera, Anthophoridae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 47(1), 107–118. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262003000100016>

- Sless, T. J. L., Branstetter, M. G., Mikát, M., Odanaka, K. A., Tobin, K. B. and Rehan, S. M. (2024). Phylogenomics and biogeography of the small carpenter bees (Apidae: Xylocopinae: Ceratina). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 198, 108133. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2024.108133>
- Warren, D. L., Matzke, N. J. and Iglesias, T. L. (2020). Evaluating presence-only species distribution models with discrimination accuracy is uninformative for many applications. *Journal of Biogeography*, 47(1), 167–180. <https://doi.org/10.1111/jbi.13705>