Artículo Original /Original Article

DOI: https://doi.org/1056152/StevianaFacenV17N2A1_2025

Distribución potencial de especies nativas de *Passiflora* L. (Passifloraceae) en Paraguay: implicaciones para la conservación y recolección de germoplasma

Pereira-Sühsner, C. D.*[1] *; Daviña, J. R.* *; Honfi, A. I.

[1]Lababoratrio de Recursos Vegetales, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-UNA, San Lorenzo, Paraguay

[2]Programa de Estudios Florísticos y Genética Vegetal, Instituto de Biología Subtropical (CONICET-UNaM) nodo Posadas, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Posadas, Argentina

***autor por correspondencia:** clauddinha_7@hotmail.com

Distribución potencial de especies nativas de *Passiflora* L. (Passifloraceae) en Paraguay: implicaciones para la conservación y recolección de germoplasma. El género *Passiflora* representa una parte significativa de la flora neotropical, y en Paraguay se han documentado 22 especies nativas pertenecientes a los subgéneros *Passiflora* (13 especies) y *Decaloba* (9 especies). En este estudio se generaron modelos de distribución potencial mediante el algoritmo MaxEnt, utilizando 19 variables bioclimáticas y un total de 369 registros de presencia provenientes de colecciones de herbario. Los modelos mostraron alta capacidad predictiva, con valores de AUC superiores a 0,8 en el 95% de las especies modeladas, incluso en casos con menos de cinco registros. La superposición analítica de los modelos permitió identificar patrones de distribución diferenciados entre subgéneros: *Passiflora* mostró mayor amplitud ecológica y ocupación en la Región Oriental y el Chaco, mientras que *Decaloba* se concentró en ambientes húmedos del oriente del país. También se identificaron zonas de alta riqueza específica y regiones prioritarias para la conservación, como el Bosque Atlántico del Alto Paraná, centro-sur de Caazapá y sectores del Chaco húmedo y seco, muchas de ellas con baja representatividad en el sistema nacional de áreas protegidas. Este trabajo proporciona una herramienta estratégica para la planificación de acciones de conservación, recolección de germoplasma y monitoreo de especies nativas de *Passiflora* en Paraguay, especialmente en regiones con vacíos de información y escasa documentación botánica.

Palabras clave: áreas prioritarias de conservación, diversidad vegetal, ecorregiones, recursos genéticos

Potential distribution of native *Passiflora* L. species (Passifloraceae) in Paraguay: implications for conservation and germplasm collection.The genus *Passiflora* represents a significant portion of the Neotropical flora, with 22 native species documented in Paraguay, belonging to the subgenera *Passiflora* (13 species) and *Decaloba* (9 species). In this study, potential distribution models were generated using the MaxEnt algorithm, based on 19 bioclimatic variables and a total of 369 presence records derived from herbarium collections. The models demonstrated high predictive performance, with AUC values exceeding 0.8 for 95% of the modeled species, even in cases with fewer than five

Steviana, Vol. 17 (2), 2025 pp.05-30
Original recibido el 18/08/2025
Aceptado el 12/12/2025

Todo el contenido de esta revista está bajo una Licencia Creative Commons

records. Analytical overlay of the models revealed distinct distribution patterns between subgenera: *Passiflora* exhibited broader ecological amplitude and occupancy across both the Region Oriental and the Chaco, while *Decaloba* was concentrated in humid environments in the eastern part of the country. Areas of high species richness and priority regions for conservation were also identified, including the Atlantic Forest of Alto Paraná, south-central of Caazapá, and certain sectors of both humid and dry Chaco, many of which show low representation within the national system of protected areas. This work provides a strategic tool for planning conservation actions, germplasm collection, and monitoring of native *Passiflora* species in Paraguay, particularly in regions with information gaps and limited botanical documentation.

Keywords: conservation priority areas, plant diversity, ecoregions, genetic resources

INTRODUCCIÓN

El género ***Passiflora*** L. (Passifloraceae Juss. ex Roussel) comprende alrededor de 575 especies distribuidas principalmente en regiones tropicales de América (Killip, 1938; Ulmer y McDougal, 2004; Borges ***et al.***, 2020). Varias de las especies poseen un alto valor económico, ornamental, alimenticio y medicinal, además de brindar servicios ecosistémicos como la polinización, lo que ha despertado un creciente interés en su conservación y aprovechamiento sostenible (Feuillet y MacDougal, 2003; Dhawan ***et al.***, 2004; Popak y Markwith, 2019; Zhang ***et al.***, 2023).

Paraguay se encuentra en el centro de América del Sur, sin salida al mar, limita con Brasil al norte y este, Argentina al sur y sureste, y Bolivia al noroeste. El territorio está atravesado por dos grandes ríos: Paraná y Paraguay, y se divide en dos regiones geográficas principales: Oriental y Occidental o Chaco, cada una con características climáticas y ecológicas diferenciadas. La Región Oriental presenta un clima tropical con estaciones bien marcadas: cálido y lluvioso en verano, fresco y seco en invierno. Su altitud varía entre 50 y 800 metros sobre el nivel del mar, destacándose la Sierra de Amambay y Sierra de Ybyturuzú como las zonas más elevadas. En contraste, la Región Occidental o Chaco posee un clima semiárido y cálido, con temperaturas que en verano superan los 40 °C y precipitaciones irregulares que generan periodos de sequía; en invierno, las temperaturas descienden ligeramente. La altitud promedio en esta región oscila entre 100 y 200 metros sobre el nivel del mar.

En este contexto geográfico, se han registrado en Paraguay al menos 22 especies nativas del género, pertenecientes a los subgéneros ***Decaloba*** (DC.) Rchb. y ***Passiflora*** L. (Pereira Sühsner ***et al.***, 2022). Las especies del subgénero ***Decaloba***, son ***P. capsularis*** L., ***P. misera*** Kunth, ***P. morifolia*** Mast., ***P. organensis*** Gardner, ***P. pohlii*** Mast., ***P. suberosa*** L., ***P. transversalis*** Milward de Azevedo, ***P. tricuspis*** Mast. y ***P. urnaefolia*** Rusby. El subgénero ***Passiflora*** está comprendido por ***P. alata*** Curtis, ***P. amethystina*** J.C. Mikan, ***P. caerulea*** L., ***P. chrysophylla*** Chodat, ***P. cincinnata*** Mast., ***P. edulis*** Sims, ***P. eichleriana*** Mast., ***P. foetida*** L., ***P. giberti*** N.E. Br., ***P. lepidota*** Mast., ***P. mooreana*** Hook., ***P. palmatisecta*** Mast. y ***P. tenuifila*** Killip.

Entre las especies registradas, varias como ***P. alata***, ***P. edulis***, ***P. caerulea*** y ***P. cincinnata*** poseen un alto valor alimenticio y/o farmacéutico, lo que las convierte en recursos estratégicos para el desarrollo sostenible del país. En particular, ***P. edulis*** que presenta distribución natural en Paraguay y es ampliamente utilizada a nivel global en la producción de jugos, extractos medicinales y productos derivados, lo que refuerza su importancia como recursos biológicos de alto valor. La

valorización de estos recursos biológicos nativos no solo contribuye a la diversificación productiva y al bienestar comunitario, sino que también fortalece las acciones de conservación y uso sostenible de la biodiversidad nacional, en un contexto de creciente presión ambiental y cambio climático. A pesar de su importancia ecológica y potencial fitofarmacéutico, la información sobre la distribución geográfica y el estado de conservación de estas especies es limitada. Los registros disponibles se concentran en zonas donde se ha realizado mayor esfuerzo de colecta, lo que deja amplias áreas sin datos y restringe la comprensión de su distribución real y potencial.

En este contexto, los modelos de distribución geográfica basados en análisis del nicho ecológico de las especies han emergido como herramientas fundamentales para predecir la presencia potencial de especies en áreas no muestreadas (Segura ***et al.***, 2003; Phillips ***et al.***, 2006; Elith y Leathwick, 2009; Ocampo ***et al.***, 2010; Milward-de-Azevedo ***et al.***, 2018). En particular, los modelos predictivos permiten compensar la carencia de datos en áreas remotas o de difícil acceso, optimizando recursos y esfuerzos de recolección (Seoane y Bustamante, 2001; Savino ***et al.***, 2014). La utilización de registros de herbario como base para estos modelos ha sido ampliamente validada como una estrategia eficaz para estimar patrones de distribución y riqueza (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004).

El modelo de máxima entropía (MaxEnt) ha demostrado un alto desempeño predictivo, incluso con datos escasos y únicos de presencia, siendo ampliamente utilizado para delinear áreas prioritarias de conservación y planificación ecológica (Phillips ***et al.***, 2006; Scheldeman ***et al.***, 2007; Gil y Lobo, 2012; Tamina y Cuentas, 2015). Además, MaxEnt permite trabajar con datos ambientales categóricos o continuos, es robusto frente a errores de georreferenciación, y su salida incluye herramientas como el AUC y la prueba de ***Jackknife*** para validar los modelos generados (Baldwin, 2009; Cruz-Cárdenas ***et al.***, 2014).

La identificación de áreas prioritarias de conservación se realiza corrientemente detectando áreas de alta riqueza específica para muchas especies de distintas familias botánicas (Chávez González ***et al.***, 2015) o bien, de acuerdo con la identificación de áreas de alta diversidad vegetal para un conjunto de especies particulares (Pennington ***et al.***, 2005; Ceballos ***et al.***, 2010). La superposición de modelos de distribución basados en algoritmos de análisis permite estimar patrones de riqueza específica y detectar regiones con alta concentración de especies. En Paraguay se han identificado varias áreas prioritarias para la conservación dentro de su marco institucional, como parte de la Política Nacional de Biodiversidad y el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (MADES, 2025). Sin embargo, aunque estas zonas están orientadas a la protección de hábitats clave para la fauna y flora más emblemática del país, las especies de ***Passiflora*** aún no han sido específicamente analizadas dentro de estos esfuerzos de conservación.

Finalmente, la distribución de las especies de ***Passiflora*** en Paraguay puede verse afectada por factores vinculados al cambio climático, como el incremento significativo de la temperatura y las alteraciones en los patrones de precipitación, los cuales podrían modificar la idoneidad ecológica de sus hábitats (CEPAL, 2014). A estos efectos se suman presiones antropogénicas como la deforestación, el avance de la frontera agrícola y la fragmentación del paisaje, que reducen la conectividad entre poblaciones y aumentan la vulnerabilidad de aquellas especies con rangos de distribución restringidos. La interacción entre estos factores compromete la persistencia de varias especies nativas, en especial aquellas con requerimientos ecológicos específicos o limitada capacidad de dispersión, lo que resalta la necesidad de evaluar su distribución potencial y fortalecer las estrategias de conservación.

Los objetivos de este trabajo fueron ***i***) modelar la distribución geográfica potencial de espe-

cies nativas del género ***Passiflora*** de Paraguay, ***ii***) analizar la influencia de las variables ambientales bioclimáticas e ***iii***) identificar vacíos de colecta, patrones de riqueza específica potencial, y zonas prioritarias para la conservación biológica de estos recursos genéticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Registros del género *Passiflora*

Se compilaron registros de distribución del género ***Passiflora*** en Paraguay a partir de 369 especímenes de herbario depositados en los principales herbarios nacionales: FACEN (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción), FCQ (Facultad de Ciencias Químicas, UNA), Museo de Historia Natural del Paraguay (PY) y Sociedad Científica del Paraguay (SCP). Adicionalmente, fueron consultados ejemplares digitalizados procedentes de Paraguay, disponibles en colecciones internacionales de los herbarios MNES, CTES, SI, NYBG, G, MO y BCN (Thiers, 2021), y en las plataformas GBIF (2021) y PyBIO (2021).

Se realizaron colectas de campo en los meses de junio, agosto, septiembre y noviembre de 2012; marzo de 2013; octubre a diciembre de 2017; febrero de 2018; marzo, abril, agosto, noviembre y diciembre de 2019; y febrero de 2020. Estas actividades aportaron 87 registros adicionales correspondientes a 13 especies, provenientes de los departamentos Central, Cordillera, Guairá, Caazapá, Presidente Hayes y Boquerón. Los especímenes recolectados fueron incorporados al Herbario FACEN como respaldo documental, y parte del material vivo se conserva en condiciones controladas en el Jardín de Aclimatación de la FCQ-UNA, San Lorenzo - Paraguay, como estrategia complementaria de conservación ***ex situ***.

Se efectuó la determinación taxonómica de las colecciones realizadas y se verificó la identidad de las colecciones realizadas según Pereira Sühsner ***et al.*** (2022), Killip (1938), Ulmer y MacDougal (2004) y Feuillet y MacDougal (2004), sobre la base de observaciones macro y microscópicas de las partes vegetativas y reproductivas mediante microscopio estereoscópico. Cada ejemplar fue registrado en una base de datos junto con sus datos de procedencia y geolocalización. La base fue depurada mediante la eliminación de duplicados, errores geográficos y registros dudosos.

Modelado de distribución potencial

Se seleccionaron 22 especies con un número mínimo de registros georreferenciados aceptable para la ejecución del modelo en MaxEnt (Phillips ***et al.***, 2006), incluyendo tanto especies ampliamente representadas como otras con registros escasos. En el caso de estas últimas, los resultados fueron interpretados con precaución debido a las limitaciones del algoritmo para estimar adecuadamente la distribución potencial con tamaños de muestras muy reducidos. Por ello, los modelos generados deben considerarse como aproximaciones exploratorias más que como predicciones robustas.

El modelado de distribución potencial se realizó mediante el algoritmo de máxima entropía del software MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips ***et al.***, 2006). Se emplearon 19 variables bioclimáticas de WorldClim versión 1.4 (resolución: 30 arc-seconds ≈ 1 km²), basadas en promedios mensuales de temperatura y precipitación (WorldClim, 2021). Estas variables fueron procesadas y gestionadas mediante DIVA-GIS (Hijmans ***et al.***, 2012) para su adecuación al área de estudio, lo que incluyó el recorte espacial de las capas ráster, la conversión de formato y verificación de la consistencia espacial entre las capas ambientales y los registros de presencia antes de su ingreso al modelo. Los modelos se generaron utilizando la configuración por defecto de MaxEnt.

Para evaluar su calidad, se emplearon los valores del Área Bajo la Curva (AUC) y las pruebas de ***Jackknife***. Se consideraron valores de AUC <

0,7; 0,7 ≥ AUC < 0,8; 0,8 ≥ AUC ≤ 0,9; AUC > 0,9, como indicativos de modelo pobre, buena, muy buena y excelente calidad predictiva respectivamente (Mezaour, 2005). Además, la contribución de cada variable ambiental fue estimada directamente por el algoritmo MaxEnt mediante análisis de ganancia y permutación, lo que permitió identificar las variables más influyentes en la distribución potencial de cada especie.

Los resultados se organizaron por subgénero (***Passiflora*** y ***Decaloba***) y se exportaron a QGIS versión 3.40 (QGIS Development Team, 2025) para la visualización de los mapas. La superposición espacial de los modelos con las ecorregiones de Paraguay se analizó según la clasificación de Dinerstein ***et al.*** (2017), y se evaluó la cobertura de las especies modeladas respecto del sistema nacional de áreas protegidas públicas, privadas y mixtas de Paraguay. Se definieron cuatro niveles de cobertura: alta (≥3 áreas), media (2 áreas), baja (1 área) y sin cobertura (ausencia total en áreas protegidas).

Para analizar los patrones de riqueza específica potencial, se generaron mapas binarios de presencia/ausencia (probabilidad ≥ 0,5) a partir de los modelos de MaxEnt. La superposición de estos mapas por subgénero permitió calcular el número de especies con presencia potencial en cada celda, generando así mapas de riqueza para cada subgénero. Los mapas fueron elaborados y visualizados con QGIS v. 3.40 (QGIS Development Team, 2025). Además, se identificaron zonas prioritarias de conservación para especies de ***Passiflora*** con distribución en Paraguay.

RESULTADOS

Distribución general y representatividad en áreas protegidas de especies nativas de *Passiflora*

Los modelos de distribución geográfica potencial de 22 especies nativas del género ***Passiflora***, pertenecientes a los subgéneros ***Passiflora*** y ***Decaloba***, se desarrollaron considerando los registros de distribución real conocidos y las variables bioclimáticas. Según los datos analizados, estas especies están presentes principalmente en seis ecorregiones del país: Chaco seco (22,73 %), Pantanal (13,64 %), Chaco húmedo (63,64 %), Cerrado (45,45 %), Pastizales de la Mesopotamia (54,55 %) y Bosque Atlántico del Alto Paraná (77,27 %) (Tabla 1, Figuras 1, 2).

Se identificaron tres especies con distribución restringida a una sola ecorregión: ***P. palmatisecta*** en el Chaco seco, ***P. organensis*** y ***P. pohlii*** en el Bosque Atlántico del Alto Paraná (Tabla 2). El 91% de las especies analizadas se encuentran incluidas en alguna unidad de conservación del sistema de áreas protegidas de Paraguay, con distintos regímenes de protección, sea en áreas públicas, privadas o mixtas (Figura 3, Tabla 2).

La mayoría de las especies analizadas se encuentran en la categoría de cobertura alta, lo cual indica una buena representatividad del género ***Passiflora*** en el sistema de áreas protegidas del país (Tabla 2). No obstante, también se registran especies de cobertura media (***P. edulis***, ***P. mooreana***, ***P. palmatisecta***), baja (***P. lepidota***) y sin

Tabla 1. Distribución de especies de los subgéneros *Passiflora* y *Decaloba* en las ecorregiones del Paraguay

Ecorregiones	Subgénero *Passiflora* (*n* = 13)	Subgénero *Decaloba* (*n* = 9)	Frecuencia relativa (*n* = 22)	Frecuencia acumulada (%)
Chaco seco	5		5	22,73
Pantanal	2	1	3	13,64
Chaco húmedo	10	4	14	63,64
Cerrado	5	5	10	45,45
Pastizales de la Mesopotamia	7	5	12	54,55
Bosque Atlántico del Alto Paraná	9	8	17	77,27

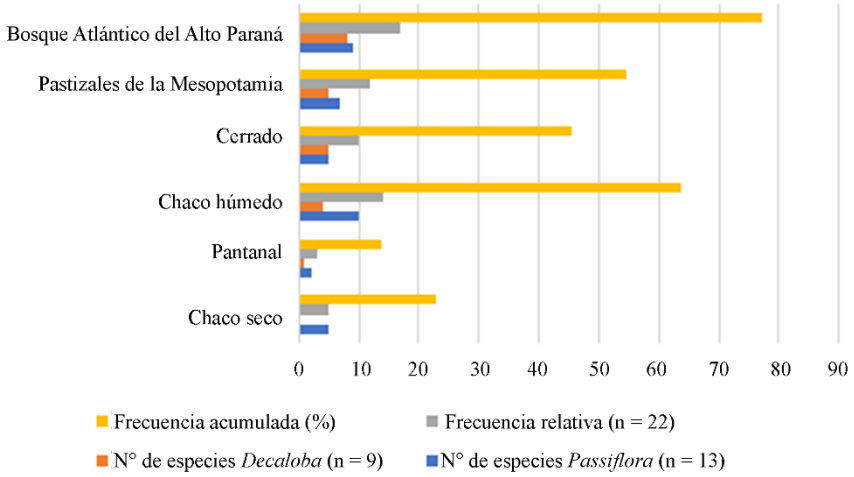


Figura 1. Frecuencia relativa y acumulada, número de especies de los subgéneros ***Decaloba*** y ***Passiflora*** en Paraguay

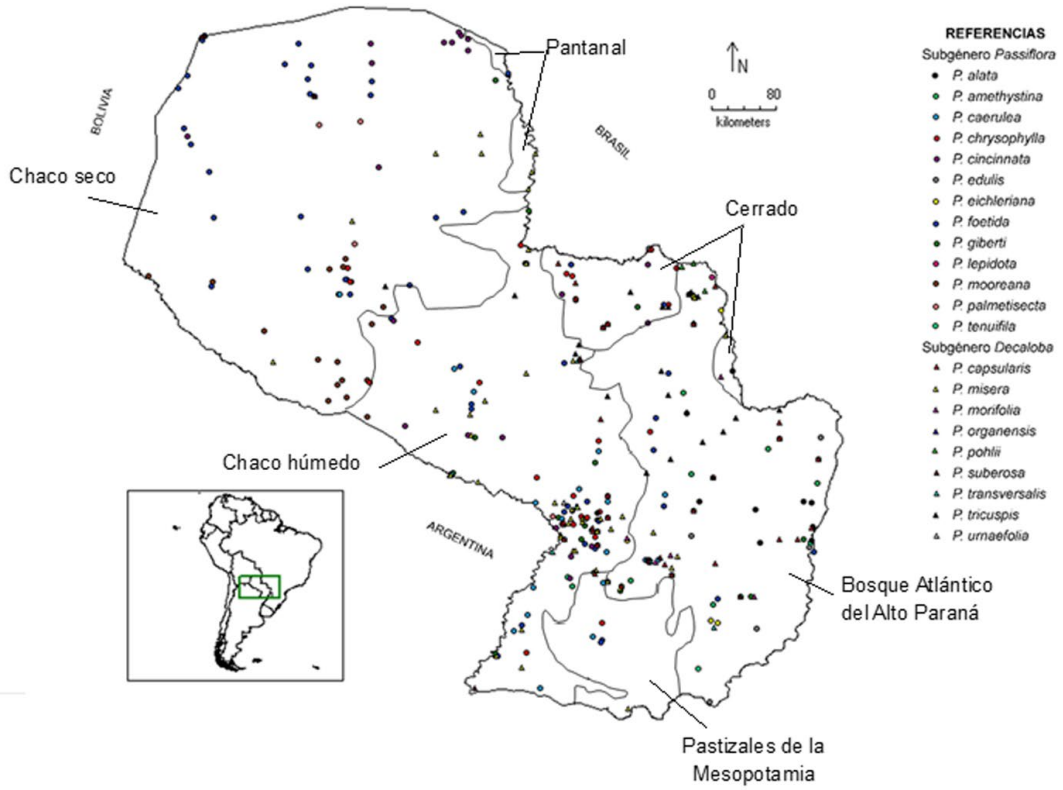


Figura 2. Distribución geográfica registrada de especies de los subgéneros ***Decaloba*** y ***Passiflora*** en Paraguay, diferenciada por ecorregión

ningún tipo de protección (***P. organensis***, ***P. pohlii***), reflejando una diversidad de condiciones ecológicas y/o de inserción en el sistema de conservación.

En términos de cobertura, las especies del subgénero ***Passiflora*** se distribuyen de manera más equilibrada entre las distintas categorías de protección, mientras que las del subgénero ***Decaloba*** se concentran en los extremos: algunas están altamente protegidas, mientras que otras están totalmente sin protección (Figura 3). Esta disparidad sugiere la necesidad de enfoques de manejo y conservación diferenciados para cada grupo taxonómico.

Tabla 2. Presencia de las especies de los subgéneros P***assiflora*** y ***Decaloba*** en áreas protegidas de Paraguay

Especie	Subgénero	Cobertura en Áreas protegidas
P. alata	*Passiflora*	Alta
P. amethystina	*Passiflora*	Alta
P. caerulea	*Passiflora*	Alta
P. chrysophylla	*Passiflora*	Alta
P. cincinnata	*Passiflora*	Alta
P. edulis	*Passiflora*	Media
P. eichleriana	*Passiflora*	Alta
P. foetida	*Passiflora*	Alta
P. giberti	*Passiflora*	Alta
P. lepidota	*Passiflora*	Baja
P. mooreana	*Passiflora*	Media
P. palmatisecta	*Passiflora*	Media*
P. tenuifila	*Passiflora*	Alta
P. capsularis	*Decaloba*	Alta
P. misera	*Decaloba*	Alta
P. morifolia	*Decaloba*	Alta
P. organensis	*Decaloba*	Sin cobertura**
P. pohlii	*Decaloba*	Sin cobertura**
P. suberosa	*Decaloba*	Alta
P. transversalis	*Decaloba*	Alta
P. tricuspis	*Decaloba*	Alta
P. urnaefolia	*Decaloba*	Alta

Nota: *Restringida a la ecorregión Chaco seco; **Restringida a la Cordillera de Amambay, ecorregión Bosque Atlántico del Alto Paraná

Modelos de distribución geográfica potencial para el subgénero *Passiflora*

Los modelos generados para las 13 especies del subgénero ***Passiflora*** nativas de Paraguay mostraron un desempeño elevado, con valores del Área Bajo la Curva (AUC) que oscilaron entre 0,828 (***P. foetida***) y 0,998 (***P. lepidota***), que indican una capacidad predictiva muy buena a excelente incluso en casos con escasos registros (Tabla 3). Las especies modeladas con más de 20 registros, como ***P. foetida*** (59 registros), ***P. caerulea*** (31) y ***P. cincinnata*** (32), alcanzaron AUCs de 0,828, 0,945 y 0,877, respectivamente (Tabla 3). En tanto, especies raras, con menor número de registros, como ***P. lepidota*** (1), ***P. eichleriana*** (4) y ***P. palmatisecta*** (7), también evidenciaron altos valores de AUC (0,998, 0,941 y 0,865) (Tabla 3).

El análisis de la contribución de variables ambientales reveló patrones diferenciados entre especies. Algunas estuvieron fuertemente influenciadas por variables térmicas, como ***P. giberti*** y ***P. lepidota***, donde la amplitud térmica diaria y temperatura máxima del mes más cálido fueron determinantes (Tabla 4). En contraste, especies como ***P. mooreana*** y ***P. palmatisecta*** respondieron principalmente a variables hídricas, particularmente a las precipitaciones del trimestre más seco y precipitaciones del trimestre más húmedo, respectivamente (Tabla 4).

En ***P. foetida***, el modelo señaló la influencia combinada de la temperatura mínima del mes más frío, las precipitaciones y estacionalidad térmica, indicando tolerancia a ambientes variables (Tabla 4). En ***P. tenuifila***, la temperatura media en el trimestre más frío se destacó como la variable con mayor importancia por permutación (95,1%) (Tabla 5).

Existen una o dos variables bioclimáticas con ≥70% de contribución en la predicción, en ***P. alata***, ***P. lepidota***, ***P. mooreana***, ***P. palmatisecta*** y ***P. tenuifila***, lo que sugiere nichos ecológicos particularmente estrechos o una marcada especialización ecológica (Tabla 5). Este patrón indica que los rangos de distribución están condicionados por requerimientos ambientales específicos, lo que puede reflejar adaptaciones evolutivas a condiciones locales particulares. La fuerte dependencia de pocas variables relacionadas con la temperatura y precipitación podría señalar una sensibilidad frente a fluctuaciones climáticas, con

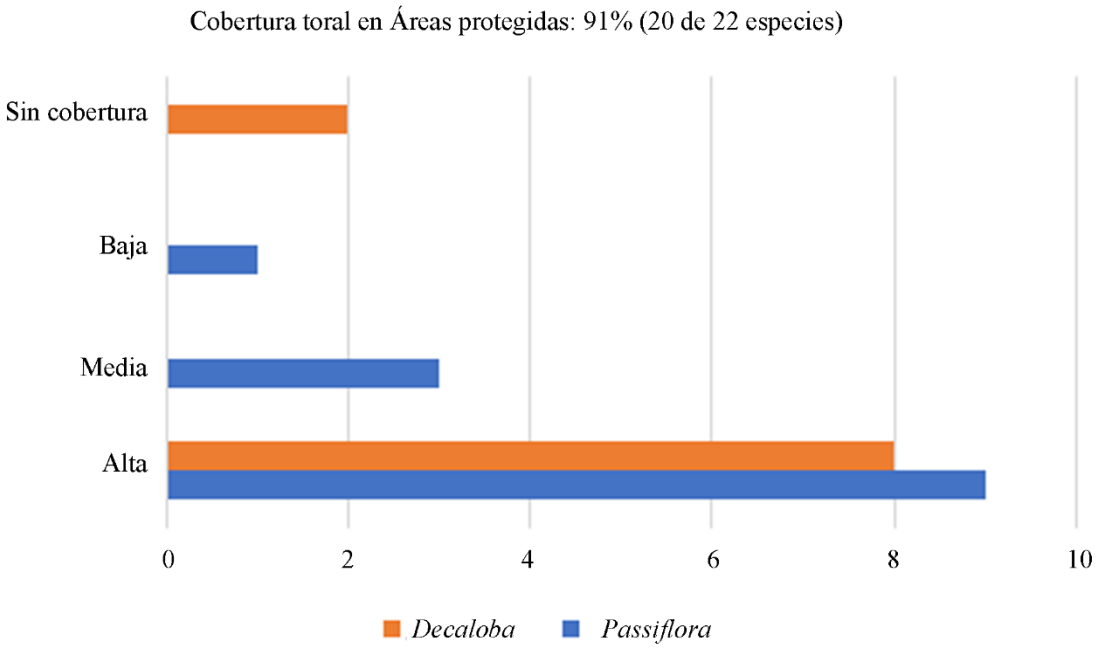


Figura 3. Número de especies de los subgéneros ***Passiflora*** y ***Decaloba*** en cada categoría de cobertura, sobre un total de 22 especies analizadas

Tabla 3. Presencia predictiva de especies de *Passiflora*, subgénero *Passiflora,* nativas de Paraguay

			Departamentos																
			Chaco			Región Oriental													
Especie	Nº de Registros	AUC	Alto Paraguay	Boquerón	Presidente Hayes	Alto Paraná	Amambay	Caaguazú	Caazapá	Canindeyú	Central	Concepción	Guairá	Itapúa	Cordillera	Misiones	Ñeembucú	Paraguarí	San Pedro
P. alata	11	0,904				■	■			■				■					
P. amethystina	13	0,927					■		■	■			■	■				■	
P. caerulea	31	0,945									■		■		■	■		■	■
P. chrysophylla	30	0,875		■	■		■				■	■			■				
P. cincinnata	32	0,877	■								■	■			■		■	■	
P. edulis	15	0,947				■		■		■			■	■	■			■	
P. eichleriana	4	0,941					■	■		■			■	■		■		■	
P. foetida	59	0,828	■	■			■				■			■	■			■	■
P. giberti	21	0,897	■				■				■		■	■	■		■	■	■
P. lepidota	1	0,998					■			■			■						
P. mooreana	17	0,947		■	■														
P. palmatisecta	7	0,865	■	■															
P. tenuifila	8	0,885				■			■	■			■	■	■	■	■	■	

AUC: Área Bajo la Curva generado con MaxEnt. Los cuadros grises indican presencia de las especies por departamentos.

Tabla 4. Variables bioclimáticas más relevantes para la distribución de las especies de *Passiflora*, subgénero *Passiflora*, en Paraguay

Especie	Variables bioclimáticas																	
	Temperatura media anual	Rango diurno medio	Isotermalidad	Estacionalidad de la temperatura	Temperatura máxima del mes más cálido	Temperatura mínima del mes más frío	Rango de temperatura anual	Temperatura media del trimestre más húmedo	Temperatura media del trimestre más seco	Temperatura media en el trimestre mas caluroso	Temperatura media en el trimestre más frío	Precipitación anual	Precipitación del periodo más lluvioso	Precipitación del periodo más seco	Estacionalidad de la precipitación	Precipitación del trimestre más húmedo	Precipitación del trimestre más seco	Precipitación del trimestre más cálido	Precipitación del trimestre más frío
P. alata							■			■		■			■	■			
P. amethystina					■								■						
P. caerulea	■	■	■	■	■			■	■			■	■	■	■				
P. chrysophylla	■	■		■				■	■		■	■						■	■
P. cincinnata	■	■	■	■	■			■	■				■	■		■			
P. edulis	■	■		■				■			■	■			■			■	
P. eichleriana	■									■		■							
P. foetida			■	■	■	■	■	■	■						■	■	■	■	■
P. giberti				■	■	■	■	■	■			■	■	■					
P. lepidota					■														
P. mooreana			■	■	■		■	■	■				■	■			■		■
P. palmatisecta								■								■			
P. tenuifila							■				■				■				

Tabla 5. Contribuciones y permutaciones de las variables bioclimáticas para la distribución de las especies del subgénero *Passiflora* en Paraguay

Especie	*P. alata*		*P. amethystina*		*P. caerulea*		*P. chrysophylla*		*P. cincinnata*		*P. edulis*		*P. eichleriana*		*P. foetida*		*P. giberti*		*P. lepidota*		*P. mooreana*		*P. palmatisec*	
Variable	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**%**
Temperatura media anual	2,1										1,9		2,6				1,2	1,7						
Rango diurno medio			5,2		16,7	1,4	3,5	0,2	14	10,9	12,8	10,1	24	30,7	9,6		30	23,5			4			
Isotermalidad					51,2	0,2			3,4	2,2	0,9				4,3	18,3								
Estacionalidad de la temparatura					2,7	38,9	4,6	10,2	11,5	8,4	8,6	16,7			8,6	30,8	0,2	0,1			1,7	22,8		
Temparatura máxima del mes más cálido			14,2			0,9			0,1	3,1					0,2	0,8		0,2	100	100	0,6	1,4		
Temperatura mínima del mes más frío							0,1	0,5	0,5						22,1	0,3	3,2	1,1						
Rango de tempetatura anual			5,8	21,9			0,1		29,2						2,7	5	15,4	16			70,6	1,1		
Temperatura media del trimestre más húmedo			1,9		0,5	3,7	5,2	7	9,3	0,3	6,3	6,1			1,5	3,8	4,4	17,4			4,1	2,4	78,3	85,
Temperatura media del trimestre más seco	0,1	0,4	0,9		11,2	14,4	18,9	22,1	3,9	28,9	3,9				2,3									
Temperatura media en el trimestre más caluroso	0,4		10,9	5,6			0,2		1				0,1	0,6	3,2	9								
Temperatura media en el trimestre más frío	1,1		2,5		0,2				3,8		1,5	0,2									0,1			
Precipitación anual	71,6	97,6			3,2	13,3	0,2	1,1			3,6	64,1	63,7	68,8			10,8	17,7			2,4			
Precipitación del periodo más lluvioso			0,6		1,8	1,8	1		0,1	0,1	1,3				4,1	8	29,4	22,4			0,3		4	
Precipitación del periodo más seco	6,2		38,4		3,4	12,1			19,5	43,6	32,1				6,1	0,8	0,6				5,1	26,9	6,9	
Estacionalidad de la precipitación			12,3	65	2,5	8,4	0,8				3,2	0,2			1,2	0,8	2,5							
Precipitación del trimestre más húmedo	3,1		0,5	7,5	1,2	4	2		0,1	2,5					5,7	8,4	0,4				0,7		7,9	14,
Precipitación del trimestre más seco	8,4		6,6		5,3		10,9				21,6		1		5,6	1,5					7,8	41,9		
Precipitación del trimestre más cálido	6,9	1,9	0,1		0,2	0,9	32,8	22,1	2,1		2,3	2,6			16,5	10,5	2						2,9	
Precipitacion del trimestre más frío							19,7	36,7	1,4				8,6		6,5	2					2,7	3,5		

Referencias: % C, porcentaje de concentración; % P, porcentaje de permutación.

implicancias relevantes para su conservación, especialmente en escenarios de cambio climático.

Distribución espacial y patrones de riqueza del subgénero *Passiflora*

Las 13 especies del subgénero ***Passiflora***, revelaron patrones espaciales diversos en extensión y localización (Figura 4). El 77% de las especies presentaron distribución potencial en las ecorregiones Chaco Húmedo, 69% en el Bosque Atlántico del Alto Paraná, 53% en los Pastizales de la Mesopotamia, 38% en el Cerrado, 38% en el Chaco seco, y 15% en el Pantanal (Tabla 6). Asimismo, el 92% de las especies presentan distribución potencial dentro de áreas protegidas públicas, 38% en áreas privadas y 23% en áreas mixtas (Tabla 6).

Las regiones con mayor idoneidad ambiental para especies de ***Passiflora*** se concentraron en el Chaco Húmedo, seguido del Bosque Atlántico del Alto Paraná, y en menor medida, en los Pastizales de la Mesopotamia. Especies como ***P. caerulea***, ***P. cincinnata*** y ***P. foetida*** mostraron una amplia distribución potencial, abarcando múltiples ecorregiones y alcanzando altos niveles de probabilidad en el oeste y centro de la región Oriental (Figuras 4c, e, h). Por el contrario, especies como ***P. palmatisecta***, ***P. lepidota*** y ***P. mooreana*** exhibieron distribuciones restringidas (Figuras 4j-l). ***Passiflora palmatisecta*** y ***P. mooreana*** presentaron núcleos de alta probabilidad en sectores muy localizados del Chaco seco y sur del Chaco húmedo, que sugieren requerimientos ambientales específicos para ambas especies (Figuras 4k-l). En tanto, ***P. lepidota*** mostró un núcleo aislado de alta idoneidad en el noreste de la región Oriental (Figura 4j). Especies como ***P. edulis*** y ***P. amethystina*** revelaron una distribución potencial menos extensa en comparación con especies generalistas (Figuras 4b, f), aunque sus áreas potenciales de ocurrencia se superponen en regiones del departamento de Caazapá y Alto Paraná, caracterizadas por alta humedad y temperaturas moderadas.

Las zonas con alta probabilidad de presencia sin registros conocidos, especialmente en el Chaco Central, el norte de San Pedro y áreas de transición entre la Región Oriental y Occidental, representan áreas clave para futuras misiones de coleta de germoplasma y prospección florística (Figuras 4a-m).

Existen áreas de superposición o coexistencia de especies en el oeste-suroeste, norte-noreste y sur de la región Oriental. Las zonas de alta riqueza específica potencial, identificadas mediante la superposición de modelos de distribución, corresponden a regiones donde, bajo condiciones ambientales favorables, se estima que podrían coincidir espacialmente seis o más especies del subgénero ***Passiflora***. Esta coexistencia sugiere la presencia de hábitats con alta heterogeneidad ambiental y disponibilidad de recursos, lo que las convierte en áreas prioritarias para estudios ecológicos, conservación y colecta de germoplasma (Figura 5).

Modelos de distribución potencial para el subgénero *Decaloba*

Los modelos de distribución de las especies del subgénero ***Decaloba*** nativas de Paraguay mostraron valores de AUC que oscilaron entre 0,833 (***P. misera***) y 0,979 (***P. pohlii***), reflejando una muy buena a excelente capacidad predictiva incluso para especies con pocos registros (Tabla 7). En contraste, ***P. organensis***, con un único registro, mostró un AUC de 0,5, indicando un modelo pobre, posiblemente debido a la calidad ambiental y la representatividad del punto de ocurrencia. Especies como ***P. misera*** (50 registros), ***P. capsularis*** (29) y ***P. suberosa*** (10), que cuentan con una mayor cantidad de registros, mostraron distribuciones más amplias y estables, mientras que otras, como ***P. pohlii*** (3) y ***P. urnaefolia*** (3), con registros limitados, presentaron predicciones más restringidas, pero igualmente informativas en términos de idoneidad ambiental.

Bioclimáticamente se identificaron patrones particulares en varias especies (Tabla 8). En ***P.***

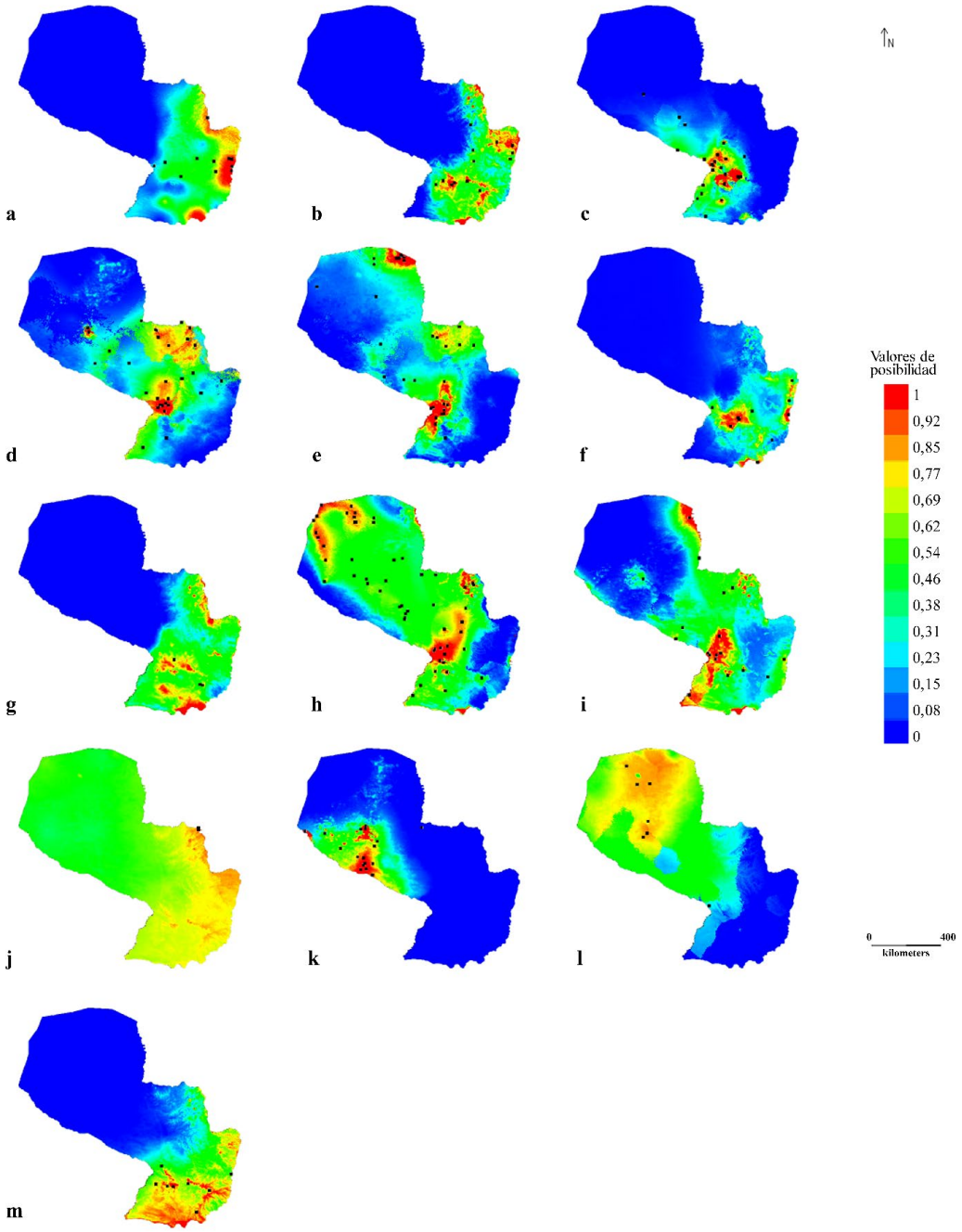


Figura 4. Mapas de distribución potencial generados con MaxEnt para las 13 especies del subgénero ***Passiflora*** en Paraguay. Los cuadros negros indican los sitios de colección botánica de ejemplares. **a.** ***P. alata***; **b.** ***P. amethystina***; **c.** P. ***caerulea***; **d.** ***P. chrysophylla***; **e.** ***P. cincinnata***; **f.** ***P. edulis***; **g.** ***P. eichleriana***; **h.** ***P. foetida***; **i.** ***P. giberti***; **j.** ***P. lepidota***; **k.** ***P. mooreana***; **l.** ***P. palmatisecta***; **m.** ***P. tenuifila***

Tabla 6. Distribución geográfica real y potencial de las especies del subgénero *Passiflora* en Paraguay, en ecorregiones fitogeográficas y áreas protegidas

Especie	Ecorregiones	Áreas protegidas		
		Públicas	Privadas	Mixtas
P. alata	Chaco seco	Parque Nacional Ñacunday	Tabucai	Limoy
P. amethystina	Pantanal	Parque Nacional Kuri'y	Reserva del Bosque Mbaracayú	Pikyry
P. caerulea	Chaco húmedo	Monumento Natural Macizo Acahay	Toro Mocho	Tati Yupi
P. chrysophylla	Cerrado	Parque Nacional San Rafael	Tapyta	
P. cincinnata	Pastizales de la Mesopotamia	Parque Nacional de Ybycuí		
P. edulis	Bosque Atlántico del Alto Paraná	Reserva de Recursos Manejados Yvyturusu		
P. eichleriana		Parque Nacional Lago Ypacaraí		
P. foetida		Refugio de Vida Silvestre Humedales del Bajo Chaco		
P. giberti		Parque Nacional San Luis		
P. lepidota		Parque Nacional Paso Bravo		
P. mooreana		Parque Nacional Rio Negro		
P. palmatisecta		Parque Nacional Ypoa		
P. tenuifila		Parque Nacional Médanos del Chaco		
		Parque Nacional Defensores del Chaco		
		Parque Nacional Tte. Agripino Enciso		
		Parque Nacional Cerro Corá		
		Reserva Ecológica Isla Carrizal		
		Parque Nacional Tinfunque		
		Monumento Nacional Cerro Chovoreca		
		Refugio de Vida Silvestre Yabebyry		
		Parque Nacional Caazapá		
		Monumento Nacional Isla Susu		

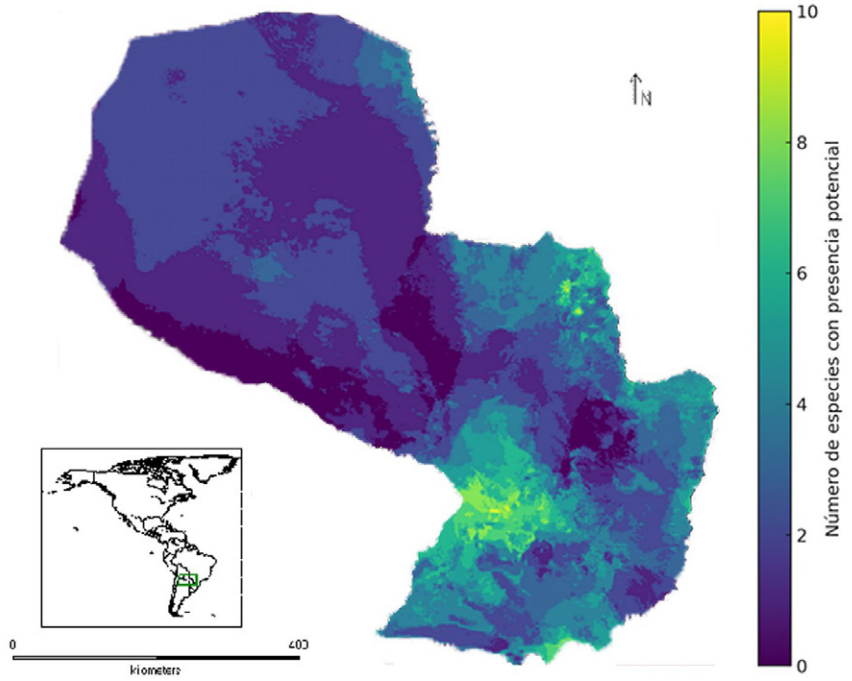


Figura 5. Mapa de riqueza potencial generado a partir de la superposición de los modelos de distribución de 13 especies del subgénero ***Passiflora*** nativas de Paraguay. Cada celda representa la suma de especies cuya distribución potencial predicha por MaxEnt supera un umbral de probabilidad ≥ 0,5. Este mapa no representa ocurrencias reales, sino zonas de idoneidad ecológica derivadas de modelos predictivos. Los puntos de presencia utilizados para generar los modelos se muestran en la Figura 4

suberosa, la amplitud térmica diaria fue determinante, explicando el 99,2% del modelo y con una importancia por permutación del 92,5% (Tabla 9). Del mismo modo, en ***P. urnaefolia***, la misma variable fue la más relevante (89,6% de contribución y 96,8% de importancia por permutación) (Tabla 9). En ***P. pohlii***, las variables estacionalidad de la temperatura (39,7%) y temperatura máxima del mes más cálido (31,5%) dominaron el modelo, mientras que la estacionalidad de las precipitaciones tuvo la mayor importancia por permutación (47,5%). En ***P. transversalis***, la variable con mayor peso fue la isotermalidad con 93,1% de contribución y 87% de importancia por permutación (Tabla 8 y 9).

En ***P. tricuspis*** se presentó una combinación de variables hídricas y térmicas, siendo la precipitación del trimestre más húmedo la más influyente (41% de contribución), seguida por temperatura del mes más seco y precipitación del mes más seco (Tabla 8 y 9). Mientras, ***P. misera*** mostró una fuerte respuesta al rango diurno medio (44%) y variables como precipitaciones del trimestre más seco (15%) y precipitaciones del mes más seco (11,9%). Finalmente, ***P. capsularis*** se vio influenciada mayoritariamente por la precipitación del trimestre más seco (36,1%) y la precipitación del trimestre más húmedo (20%), seguidas de variables térmicas como estacionalidad de a temperatura (15,2%) y rango diurno medio (10,1%).

Tabla 7. Presencia predictiva de especies de *Passiflora*, subgénero *Decaloba,* nativas de Paraguay

			Departamentos																
			Chaco			Región Oriental													
Especie	N° de Registros	AUC	Alto Paraguay	Boquerón	Presidente Hayes	Alto Paraná	Amambay	Caaguazú	Caazapá	Canindeyú	Central	Concepción	Guairá	Itapúa	Cordillera	Misiones	Ñeembucú	Paraguarí	San Pedro
P. capsularis	29	0,943				■	■			■	■		■		■			■	
P. misera	50	0,87					■				■		■		■		■	■	
P. morifolia	5	0,937					■			■			■	■		■			
P. organensis	1	0,5					■												
P. pohlii	3	0,998					■												
P. suberosa	10	0,824									■		■	■	■	■	■	■	
P. transversalis	5	0,829									■			■		■	■	■	
P. tricuspis	29	0,925					■			■									■
P. urnaefolia	3	0,969	■				■			■	■		■	■	■			■	■

AUC: Área Bajo la Curva generado con MaxEnt. Los cuadros grises indican presencia de las especies por departamentos.

Distribución espacial y patrones de riqueza

Las especies del subgénero ***Decaloba*** presentaron modelos con distribución más restringida, generalmente concentrados en ecorregiones húmedas de la Región Oriental (Figuras 6a-i). Esta predicción de distribución puede estar asociada a requerimientos climáticos más específicos y a una menor capacidad de dispersión de las especies, aspectos que se reflejan en los patrones espaciales y en la influencia de las variables ambientales analizadas.

Los modelos generados para las nueve especies del subgénero ***Decaloba*** revelaron patrones espaciales diversos (Figuras 6a-i). El 89% de las especies se distribuyen potencialmente en las ecorregiones del Bosque Atlántico del Alto Paraná, Cerrado (55,56%), Pastizales de la Mesopotamia (55,56%), Chaco Húmedo (44,44%), y en menor proporción en el Pantanal (11,11%). El 78% de las especies del subgénero ***Decaloba***, presentan distribución potencial dentro de áreas protegidas públicas, 33% en áreas privadas y 22% en áreas mixtas (Tabla 10).

Las especies con mayor amplitud geográfica, como ***P. capsularis***, ***P. misera*** y ***P. suberosa***, presentaron distribuciones amplias y continuas en la Región Oriental y partes del Chaco, que sugieren mayor tolerancia ecológica y adaptación a ambientes perturbados (Figuras 6a-b, f). Estas especies muestran alta idoneidad en mosaicos de ecorregiones, incluyendo zonas antropogénicas como bordes de cultivos, pastizales secundarios y bordes de bosques remanentes. En contraste, especies como ***P. organensis***, ***P. pohlii*** y ***P. urnaefolia***, mostraron distribuciones mucho más restringidas, con núcleos de alta probabilidad localizados principalmente en ambientes húmedos del Bosque Atlántico y zonas de transición con el Cerrado (Figuras 6d-e, i). En ***P. pohlii*** el área potencial de distribución es estrecha y se encontraría en el noreste de Amambay, en concordancia con el carácter de especie rara o infrecuente (Figura 6e).

Las zonas de alta coincidencia de modelos, con hasta cinco especies en coexistencia espacial se ubican potencialmente en áreas de Alto Paraná, Caazapá, y noreste de Guairá (Figura 7). Las áreas con seis o más especies en coexistencia se localizan en el centro-noreste de Amambay, noreste de Canindeyú, sur de Cordillera, norte de

Tabla 8. Variables bioclimáticas más relevantes para la distribución de las especies de *Passiflora*, subgénero *Decaloba*, en Paraguay

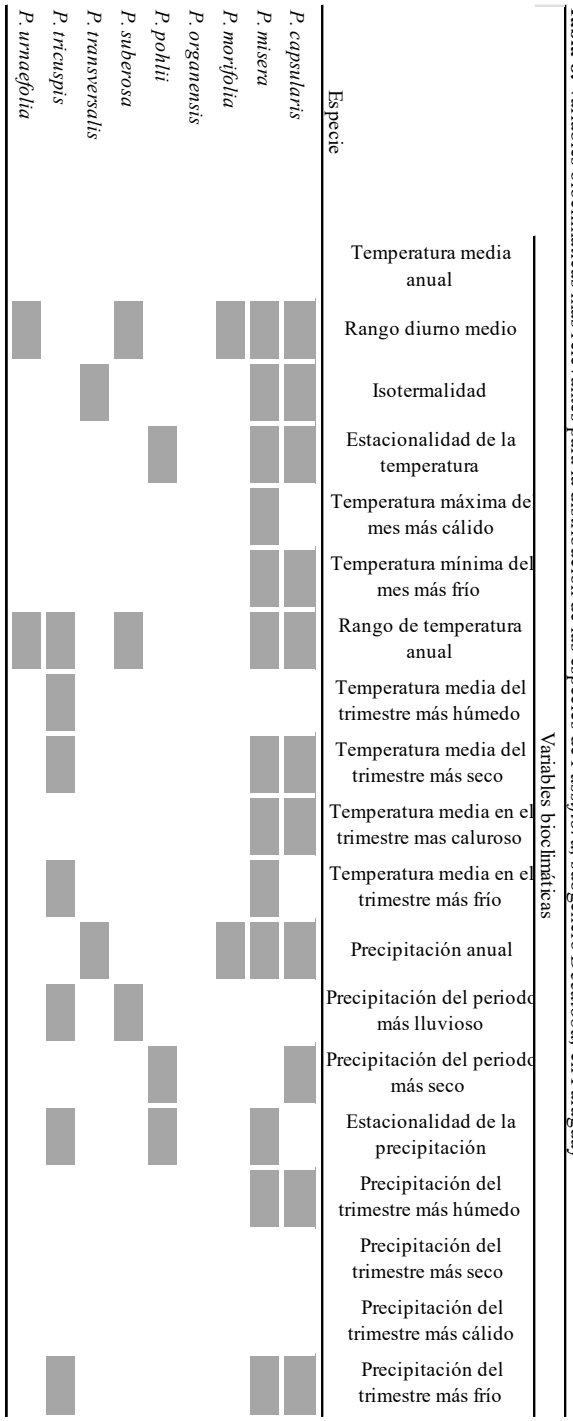


Tabla 9. Contribuciones y permutaciones de las variables bioclimáticas para la distribución de las especies del subgénero *Decaloba* en Paraguay

Especie	*P. capsularis*		*P. misera*		*P. morifolia*		*P. organensis*		*P. pohlii*		*P. suberosa*		*P. transversalis*		*P. tricuspis*		*P. urnaefolia*	
Variable	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**	**% C**	**% P**
Temperatura media anual	0,1	1,2	1,5	1	0,9										0,7			
Rango diurno medio	10,1	1	44	1	1,9	12					99,2	92,5					89,6	96,8
Isotermalidad	0,2	0,3	5,6	21,1					1,7				93,1	87				
Estacionalidad de la temparatura	15,2	16,2	0,5	4					39,7	25,1					7			
Temparatura máxima del mes más cálido	0,8		0,6	0,3					31,5									
Temperatura mínima del mes más frío																		
Rango de tempetatura anual	3,9	0,7	1,3	13,9					17,4		0,3	0,5			8,4	0,2	10,4	3,2
Temperatura media del trimestre más húmedo															1,3	20,9		
Temperatura media del trimestre más seco	2,4	13,5	2,8	0,6											21,2	2,7		
Temperatura media en el trimestre más caluroso	5,6	0,4		0,1														
Temperatura media en el trimestre más frío	1	2	0,5	0,3											2,7	58,5		
Precipitación anual	1,9	3,9	4,8	2,8	97,2	88							6,9	13				
Precipitación del periodo más lluvioso			5,7	16,3					4,7		0,6	7			0,4			
Precipitación del periodo más seco	2,1	11,3	11,9	28,1					1,5	27,3					12,3			
Estacionalidad de la precipitación			4	3,5					3,5	47,5					0,5	4,4		
Precipitación del trimestre más húmedo	20	49,4		0,4											41	3		
Precipitación del trimestre más seco	36,1		15												0,1			
Precipitación del trimestre más cálido	0,2		0,8												3,2	1,4		
Precipitacion del trimestre más frío	0,2	0,1	0,9	6,4											1,2	8,9		

Referencias: % C, porcentaje de concentración; % P, porcentaje de permutación

Paraguarí, suroeste de Caaguazú y centro-noroeste de Guairá (Figura 7). También se identificaron focos de riqueza intermedia en sectores del Cerrado, y en el Bosque Atlántico particularmente al suroeste de San Pedro y centro-norte de Caaguazú (Figura 7). El subgénero ***Decaloba*** muestra una distribución potencial más concentrada en la Región Oriental, con menor penetración hacia el Chaco y una dependencia más fuerte de condiciones húmedas y estacionales (Figuras 6a-i, 7).

Zonas prioritarias de conservación para el género *Passiflora*

El análisis de riqueza específica permitió delimitar siete regiones prioritarias para la conservación de especies nativas de ***Passiflora*** en Paraguay, considerando su alta diversidad, presencia de especies de distribución restringida y baja

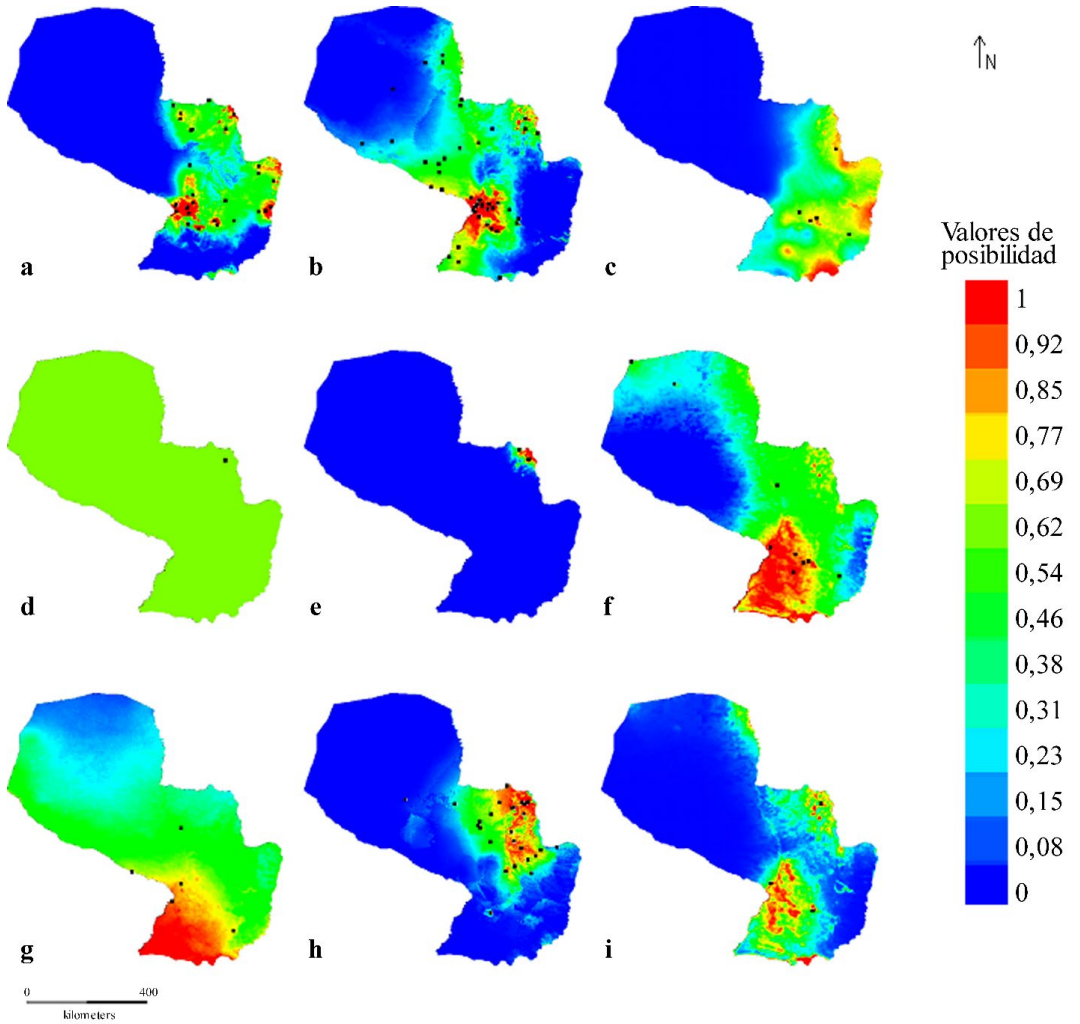


Figura 6. Mapas de distribución potencial generados con MaxEnt para las 9 especies del subgénero ***Decaloba*** en Paraguay. Los cuadros negros indican los sitios de colección botánica de ejemplares. a. ***P. capsularis,*** b. ***P. misera,*** c. ***P. morifolia,*** d. ***P. organensis,*** e. ***P. pohlii, f. P. suberosa,*** g. ***P. transversalis,*** h. ***P. tricuspis,*** i. ***P. urnaefolia***

Tabla 10. Distribución real y potencial de las especies del subgénero *Decaloba* en Paraguay, desagregada por ecorregiones fitogeográficas y tipos de áreas protegidas

							Áreas protegidas																		
	Ecorregiones						Públicas												Privadas			Mixtas			
Especie	Chaco seco	Pantanal	Chaco húmedo	Cerrado	Pastizales de la Mesopotamia	Bosque Atlántico del Alto Paraná	Parque Nacional Ñacunday	Monumento Natural Macizo Acahay	Parque Nacional de Ybycuí	Reserva de Recursos Manejados Yvyturusu	Parque Nacional Lago Ypacaraí	Parque Nacional Bella Vista	Parque Nacional Ypoa	Parque Nacional Cerro Corá	Reserva Ecológica Isla Carrizal	Refugio de Vida Silvestre Yabebyry	Monumento Natural Cerro Koi	Monumento Nacional Isla Susu	Arroyo Blanco	Reserva del Bosque Mbaracayú	Laguna Blanca	Bosque Arary	Isla Yacyreta	Pikyry	Tati Yupi
P. capsularis			■			■	■	■		■	■		■				■								
P. misera			■	■	■	■		■	■		■		■	■											
P. morifolia				■	■	■				■										■				■	■
P. organensis						■																			
P. pohlii						■																			
P. suberosa			■	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■		■				■	■		
P. transversalis			■		■			■	■		■		■		■	■		■				■	■		
P. tricuspis				■		■						■		■					■		■				
P. urnaefolia		■		■	■	■		■		■			■	■											

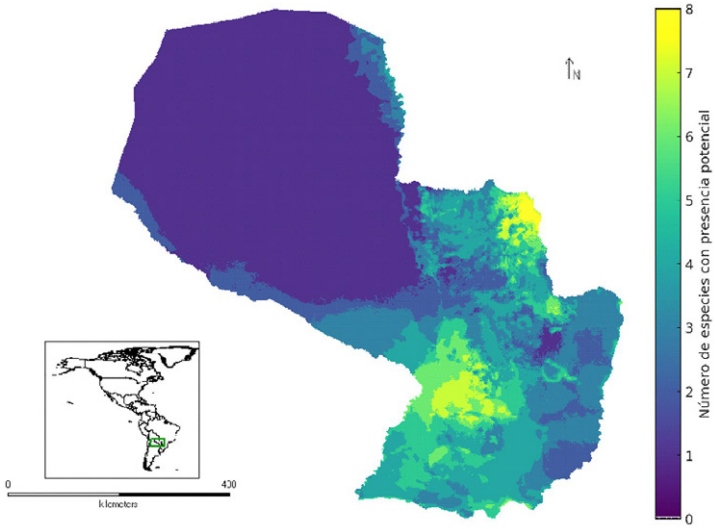


Figura 7. Mapa de riqueza potencial del subgénero ***Decaloba*** en Paraguay, elaborado a partir de la superposición de los modelos de distribución generados para nueve especies mediante el algoritmo MaxEnt. Cada celda representa la cantidad de especies con probabilidad de ocurrencia igual o superior a 0,5. Este mapa no representa ocurrencias reales, sino zonas de idoneidad ecológica derivadas de modelos predictivos. Los puntos de presencia utilizados para generar los modelos se muestran en la Figura 6

representación en el sistema nacional de áreas protegidas (Figuras 5 y 7).

En el subgénero ***Passiflora***, se identificaron cuatro regiones prioritarias:

Bosque Atlántico del Alto Paraná (Canindeyú, Alto Paraná, Caazapá e Itapúa): alta coincidencia de ***P. alata***, ***P. amethystina***, ***P. caerulea*** y ***P. edulis***.

Centro-sur de Caazapá: núcleo destacado de riqueza potencial con especies como ***P. amethystina***, ***P. giberti*** y ***P. edulis***.

Chaco húmedo (oeste de Presidente Hayes y norte de Ñeembucú): presencia de ***P. cincinnata***, ***P. foetida***, ***P. mooreana*** y ***P. palmatisecta***.

Zona de transición Chaco seco–Chaco húmedo (sur de Boquerón y noroeste de Presidente Hayes): incluye especies poco conocidas como ***P. mooreana*** y ***P. palmatisecta***.

En el subgénero ***Decaloba***, se identificaron tres zonas prioritarias:

Bosque Atlántico del Alto Paraná (Alto Paraná, Caazapá y Canindeyú): mayor diversidad del subgénero, incluyendo especies poco registradas como ***P. pohlii***.

Centro-norte de Caaguazú y noreste de Guairá: riqueza intermedia y baja representación en áreas protegidas.

Zona de transición Cerrado–Bosque Atlántico y ***Chaco húmedo–Pastizales de la Mesopotamia***: presencia potencial de especies con afinidad térmica y estacional como ***P. tricuspis*** y ***P. transversalis***

DISCUSIÓN

Los modelos de distribución potencial generados para las especies nativas del género ***Passiflora*** en Paraguay revelan patrones espaciales coherentes con la diversidad ambiental del país y evidencian una marcada influencia de las condiciones climáticas sobre la idoneidad del hábitat. Basados principalmente en registros de herbario, una fuente clave para estudios de distribución potencial (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004), estos

modelos permiten estimar áreas de ocurrencia incluso en contextos de información fragmentaria.

Algunas especies como ***P. lepidota***, ***P. morifolia*** y ***P. pohlii*** tuvieron pocos registros, por lo que sus predicciones deben considerarse preliminares. Esta baja representatividad puede atribuirse a múltiples factores: en ciertos casos, como en ***P. lepidota*** y ***P. pohlii***, las poblaciones se localizan en zonas de difícil acceso como la Cordillera de Amambay, donde las condiciones de seguridad limitan las exploraciones científicas. Además, existe una tendencia histórica a realizar colectas en áreas más accesibles, lo que ha generado vacíos de información en regiones remotas o con restricciones logísticas (Mateo ***et al.***, 2011). Estos vacíos no necesariamente reflejan rareza biológica, sino una baja intensidad de muestreo en determinados sectores del país.

A pesar de estas limitaciones, los modelos resultan especialmente útiles para identificar posibles áreas con vacíos de información o regiones poco exploradas, permitiendo optimizar recursos y reducir la subjetividad en la planificación de campañas botánicas (Seoane y Bustamante, 2001; Gil y Lobo, 2012) y colecta de germoplasma (Ocampo ***et al.***, 2007; Savino ***et al.***, 2014; Gutiérrez, 2015; Aguirre-Morales ***et al.***, 2016). En particular, zonas como el centro-norte de Caaguazú, noreste de Guairá, noreste de Canindeyú, centro-noreste de Amambay y suroeste de San Pedro, que presentan alta idoneidad ecológica pero escasa documentación, ameritan mayor esfuerzo de exploración y colecta sistemática.

En cuanto a los patrones ecológicos, se observaron diferencias claras entre los subgéneros ***Passiflora*** y ***Decaloba***. Las especies de ***Passiflora*** presentan una mayor amplitud ecológica, ocupando tanto la Región Oriental como el Chaco, lo que refleja un rango adaptativo más amplio. En contraste, las especies de ***Decaloba*** exhiben una distribución más restringida, limitada principalmente a ambientes húmedos del oriente del país. Asimismo, tienden a presentar nichos ecológicos más estrechos y una mayor sensibilidad a las variables térmicas, lo que sugiere requerimientos ambientales más específicos y una menor capacidad de dispersión.

Desde una perspectiva biogeográfica, las especies de ***Passiflora*** muestran afinidades claras por ciertas ecorregiones. El Bosque Atlántico del Alto Paraná, los Pastizales de la Mesopotamia y el Cerrado albergan la mayor riqueza específica del subgénero ***Decaloba***, mientras que el Chaco húmedo y el Bosque Atlántico del Alto Paraná son particularmente relevantes para especies del subgénero ***Passiflora***. La presencia de especies exclusivas del Bosque Atlántico, como ***P. pohlii*** y ***P. palmatisecta***, en zonas del Chaco seco subraya la necesidad de conservar tanto ambientes de alta diversidad como hábitats especializados (Dinerstein ***et al.***, 2017).

Si bien la mayoría de las especies muestran distribución potencial dentro de áreas protegidas públicas, se identificaron vacíos de conservación relativos en el sistema de conservación privada y mixta de Paraguay. Estos vacíos se reflejan en la baja representatividad de ciertas especies en reservas privadas o mixtas, a pesar de que sus modelos indican alta idoneidad ecológica en dichas zonas. Esta situación puede deberse a la limitada extensión, menor número y distribución geográfica de las áreas privadas y mixtas en comparación con las públicas, así como a la falta de mecanismos efectivos para integrar estas categorías en estrategias nacionales de conservación.

Por lo tanto, se recomienda ampliar las estrategias de protección hacia dominios menos representados, promoviendo la creación de nuevas reservas privadas, fortalecimiento de iniciativas comunitarias y establecimiento de corredores ecológicos que conecten fragmentos de hábitat en paisajes productivos. Estas acciones permitirían mejorar la cobertura del sistema de conservación y asegurar la protección de especies con distribución restringida o baja representatividad actual.

La comparación entre la distribución real y potencial mostró que algunas especies, como ***P.***

capsularis, ***P. foetida***, ***P. misera*** y ***P. tricuspis***, podrían estar experimentando una reducción de su hábitat. Si bien han demostrado cierta capacidad para prosperar en ambientes antropogénicos, su permanencia podría depender de prácticas humanas específicas, como el mantenimiento de bordes de cultivo, cercas vivas o remanentes de vegetación secundaria, lo que incrementa la compleja relación entre biodiversidad y usos del suelo (Chazdon, 2003; Fischer y Lindenmayer, 2006; Harvey ***et al.***, 2008; Perfecto y Vandermeer, 2010).

La mayoría de las especies modeladas, excepto ***P. pohlii*** y ***P. organensis***, presentan distribución potencial dentro del sistema nacional de áreas protegidas. Sin embargo, los registros de herbario dentro de estas áreas son escasos (Pereira Sühsner ***et al.***, 2022), y los modelos generados con menos de cinco registros tienden a ajustarse estrechamente a las condiciones ambientales conocidas, lo que puede inflar artificialmente el valor del AUC (Hernández ***et al.***, 2006; Wisz ***et al.***, 2008). Aunque estos valores deben interpretarse con cautela, los modelos siguen siendo útiles como herramientas exploratorias para identificar áreas potenciales de ocurrencia y orientar futuras campañas de colecta. La implementación de estudios poblacionales y ecológicos que permitan establecer el grado de amenaza y orientar estrategias de conservación debería ser prioritaria a corto plazo.

Las zonas prioritarias para la conservación de ***Passiflora*** se distribuyen en varias ecorregiones del país. Regiones como el Bosque Atlántico del Alto Paraná, centro-sur de Caazapá, Chaco húmedo y la zona de transición entre el Chaco seco y húmedo presentan alta idoneidad ecológica, presencia de especies de distribución restringida y escasa representación dentro del sistema nacional de áreas protegidas. El diseño de estrategias y políticas públicas de conservación debería considerar estas áreas como prioritarias para la conservación ***in situ*** y recolección de germoplasma.

Las siete regiones prioritarias identificadas mediante el análisis de riqueza específica reflejan condiciones ecológicas favorables y baja cobertura institucional. Estas zonas albergan especies con sensibilidad ambiental elevada o escasa documentación botánica, lo que las convierte en focos estratégicos para acciones de conservación.

En el Bosque Atlántico del Alto Paraná, se recomienda fortalecer las áreas protegidas existentes, dada la alta presión por deforestación y la coincidencia de múltiples especies de interés económico y ecológico. En el centro-sur de Caazapá y centro-norte de Caaguazú, se sugiere promover la creación de reservas privadas, corredores ecológicos y estrategias comunitarias de conservación. Las regiones del Chaco húmedo y la zona de transición con el Chaco seco requieren estudios poblacionales y ecológicos, así como exploraciones dirigidas para evaluar el estado de las poblaciones naturales.

Por su parte, las zonas de transición entre ecorregiones, como el Cerrado y Pastizales de la Mesopotamia, presentan condiciones particulares para especies con requerimientos ecológicos específicos. En estos casos, se recomienda implementar campañas botánicas sistemáticas y diseñar estrategias diferenciadas de conservación, tanto ***in situ*** como ***ex situ***.

A pesar de las limitaciones inherentes a los modelos basados únicamente en registros de presencia, como el sesgo por esfuerzo de colecta (Reddy y Dávalos, 2003) y el uso exclusivo de variables climáticas (Guisan y Thuiller, 2005), las áreas de distribución potencial y los patrones de riqueza específica constituyen una base sólida para guiar futuras acciones de conservación, exploración y monitoreo.

Finalmente, se recomienda priorizar áreas con alta idoneidad ambiental y baja representación en el sistema actual de conservación, así como incorporar nuevas variables ambientales como cobertura del suelo, conectividad ecológica y escenarios de cambio climático en investiga-

ciones futuras (Araújo y Peterson, 2012; Tamina y Cuentas, 2015). Estudios recientes han demostrado que la proyección de escenarios futuros es esencial para garantizar la conservación a largo plazo (Guacho Tene, 2024), una consideración de particular importancia para las especies de ***Passiflora*** en Paraguay. De cara al futuro, será crucial integrar estos elementos para refinar los modelos predictivos y fortalecer los procesos de toma de decisiones orientadas a la conservación de la biodiversidad en el país.

CONCLUSIONES

Los modelos generados permitieron estimar la distribución potencial de 22 especies nativas del género ***Passiflora*** en Paraguay, con alta resolución ecológica y sólida capacidad predictiva, incluso en contextos de registros fragmentarios. Esta aproximación constituye una herramienta estratégica para orientar acciones de conservación, exploración y gestión de germoplasma, especialmente en regiones poco documentadas.

El análisis comparativo entre los subgéneros ***Passiflora*** y ***Decaloba*** evidenció diferencias marcadas en sus patrones de distribución y sensibilidad ambiental. Mientras ***Passiflora*** mostró mayor amplitud ecológica y capacidad de ocupación en diversos ambientes, ***Decaloba*** presentó nichos más estrechos y mayor sensibilidad a variables térmicas, lo que sugiere requerimientos ecológicos más específicos y una menor capacidad de dispersión. Estas diferencias resaltan la necesidad de diseñar estrategias diferenciadas de conservación y colecta, ajustadas a la ecología particular de cada grupo.

Asimismo, se identificaron áreas de alta idoneidad ecológica con baja densidad de registros, como el centro-norte de Caaguazú, noreste de Guairá, noreste de Canindeyú, centro-noreste de Amambay y suroeste de San Pedro. Estas zonas representan prioridades para futuras campañas de colecta botánica y exploración sistemática. Los modelos generados también ofrecen herramientas clave para reforzar el sistema actual de áreas protegidas y planificar nuevas estrategias de conservación territorial, replicables para otros grupos vegetales de interés estratégico.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo como parte de los requisitos para la obtención del título de doctorado en Ciencias Aplicadas en la Universidad Nacional de Misiones (Posadas, Argentina). Los autores agradecen a los herbarios FACEN, FCQ, PY, SCP, MNES, CTES, SI, NYBG, G, MO, BCN, así como las plataformas GBIF y PyBIO, por brindar acceso a sus colecciones y datos. El apoyo financiero fue proporcionado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT N.º 2016-1637; PICT 2017-4203; PICT2020 serie A 3783) y la Universidad Nacional de Misiones (PDTS 16Q1082).

APORTES DE LOS AUTORES

Pereira-Sühsner llevó a cabo la investigación como parte de sus estudios doctorales bajo la dirección de Honfi y codirección de Daviña. Pereira-Sühsner preparó el borrador original del manuscrito. Daviña y Honfi supervisaron la investigación y brindaron orientación a lo largo del proyecto. Todos los autores hicieron contribuciones sustanciales a la revisión del manuscrito y aprobaron la versión final para su presentación.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses en relación con la investigación, la redacción y publicación de este manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre-Morales, A. C., Bonilla-Morales, M. M., & Caetano, C. M. (2016). Evaluación de la

diversidad y patrones de distribución de ***Passiflora*** subgénero ***Astrophea*** (Passifloraceae) en Colombia: Un reto para la investigación taxonómica, florística y de conservación de las especies. ***Acta Agronómica***, ***65***(4), 422–430. https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.51444

Araújo, M. B., & Peterson, A. T. (2012). Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. ***Ecology***, ***93***(7), 1527–1539. https://doi.org/10.1890/11-1930.1

Baldwin, R. A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. ***Entropy***, ***11***(4), 854–866. https://doi.org/10.3390/e11040854

Borges, K.F., Lorenzoni, R.M., Fontes, M.M. P., & Milward-de-Azevedo, M.A. (2020). A família Passifloraceae ***sensu stricto*** do Espírito Santo, Brasil. ***Rodriguésia***, ***71***, e03212018. https://doi.org/10.1590/2175-7860202071084

Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury Creel, J., & Dirzo, R. (Eds.). (2010). ***Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México***. Fondo de Cultura Económica, CONABIO, CONANP.

CEPAL. (2014). La economía del cambio climático en el Paraguay (LC/W.617). Naciones Unidas. https://www.cepal.org/es/publicaciones/32506-la-economia-del-cambio-climatico-en-el-paraguay

Chávez González, H., González Guillén, M. de J., & Hernández de la Rosa, P. (2015). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. ***Revista Mexicana de Ciencias Forestales***, ***6***(1), 8–23.

Chazdon, R. L. (2003). Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. Perspectives in Plant Ecology, ***Evolution and Systematics***, ***6***(1–2), 51 – 71. https://doi.org/10.1078/1433-8319-00042

Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E. & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en MaxEnt. ***Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente***, ***20***(2), 187 – 200. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034

Dhawan, K., Dhawan, S., & Sharma, A. (2004). ***Passiflora***: A review update. ***Journal of Ethnopharmacology***, ***94***(1), 1 – 23. https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.02.023

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., ... & Hansen, M. (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. ***BioScience***, ***67***(6), 534 – 545. https://doi.org/10.1093/biosci/bix014

Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. ***Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics***, ***40***, 677–697. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159

Feuillet, C., & MacDougal, J. M. (2004). ***Checklist of recognized species names of Passiflora L. (Passifloraceae)***. Contributions from the U.S. National Herbarium, 49, 1–xx. Smithsonian Institution, Department of Botany.

Fischer, J.; Lindenmayer, D. B. (2006). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. ***Global Ecology and Biogeography***, ***15***(3), 265 – 280. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287

Gil, M. P., & Lobo, J. M. (2012). AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. ***Global Ecology and Biogeography***, ***21***(2), 210 – 211. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00683.x

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2021). ***Portal de datos sobre biodiversidad***. https://www.gbif.org/

Guacho Tene, A. J. (2024). ***Distribución actual y potencial de la especie Passiflora ligularis en los Andes Ecuador, bajo escenarios de cambio climático*** [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Guisan, A., & 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

Gutiérrez, B. (2015). ***Consideraciones para el muestreo y colecta de germoplasma en la conservación ex situ de recursos genéticos forestales. Conservación de Recursos Genéticos Forestales, Principios y Prácticas***. Santiago, Chile. Instituto Forestal.

Harvey, C. A., Komar, O., Chazdon, R. L., Ferguson, B. G., Finegan, B., Griffith, D. M., Martínez-Ramos, M., Morales, H., Nigh, R., Soto-Pinto, L., van Breugel, M., & Wishnie, M. (2008). Integrating Agricultural Landscapes with Biodiversity Conservation in the Mesoamerican Hotspot. ***Conservation Biology***, ***22***(1), 8 – 15. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00863.x

Hernández, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., & Albert, D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. ***Ecography***, ***29***(5), 773 – 785.

Hijmans, R. J., Guarino, L., & Mathur, P. (2012). DIVA-GIS ***[Computer software]***. University of California. http://www.diva-gis.org

Killip, E. P. (1938). The American species of Passifloraceae. ***Publications of the Field Museum of Natural History, Botanical Series, 19***(1), 1 – 613. https://doi.org/10.5962/bhl.title.2523

MADES. 2025. Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas de Paraguay SINASIP 2025 - 2030. Asunción, Paraguay. 65p. https://fapi.org.py/wp-content/uploads/2025/04/Sinasip-Version-Resolucion.pdf

Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. ***Revista Chilena de Historia Natural***, ***84***(2), 217 – 240. https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008

Mezaour, M. (2005). ***Méthodes statistiques pour l'évaluation de la performance des modèles de distribution d'espèces*** [Tesis de maestría, Université de Montréal].

Milward-de-Azevedo, M. A., de Oliveira, F. C., & Cervi, A. C. (2018). Distribution patterns of ***Passiflora*** L. (Passifloraceae s.s.) in the Serra da Mantiqueira, Southeast Brazil. ***Brazilian Journal of Botany***, ***41***(3), 641 – 650. https://doi.org/10.1007/s40415-018-0469-2

Ocampo, J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., & Jarvis, A. (2010). Distribution of the Genus ***Passiflora*** L. Diversity in Colombia and Its Potential as an Indicator for Biodiversity Management in the Coffee Growing Zone. ***Diversity, 2***, 1158 – 1180.

Ocampo, J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Restrepo, M., Jarvis, A., Salazar, M., & Caetano, C. (2007) Diversity of Colombian Passifloraceae: Biogeography and an updated list for conservation. ***Biota Colombiana***, ***8***, 1 – 45.

Pennington, R. T., Lavin, M., & Oliveira-Filho, A. T. (2005). Tropical mountain cradles of dry forest diversity. ***Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102***(13), 4913 – 4918. https://doi.org/10.1073/pnas.0505013102

Pereira Sühsner, C., Daviña, J. R., & Honfi, A. I. (2022). ***Passiflora*** L. de Paraguay: morfología, fenología, ecología y distribución. ***Rojasiana, 20***(1), 19 – 87.

Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2010). The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. ***Proceedings of the National Academy of Sciences***, ***107***(13), 5786 – 5791. https://doi.org/10.1073/pnas.0905455107

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & 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

Popak, A. E., & Markwith, S. H. (2019). Economic valuation of bee pollination services for

passion fruit (Malpighiales: Passifloraceae) cultivation on smallholding farms in São Paulo, Brazil, using the avoided cost method. ***Journal of Economic Entomology***, ***112***(5), 2049 – 2054. https://doi.org/10.1093/jee/toz169

PyBIO. (2021). ***Passiflora***. PyBIO. https://www.pybio.org/en/index.php?s=Passiflora

QGIS Development Team. (2025). ***QGIS Geographic Information System (Versión 3.40) [Computer software]***. https://qgis.org/

Reddy, S., & Dávalos, L. M. (2003). Geographical sampling bias and its implications for conservation priorities in Africa. ***Journal of Biogeography, 30***(11), 1719 – 1727. https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00946.x

Savino, C., Diodato, L., Gatto, M. A., & Zerda, H. R. (2014). Modelos de Distribución Potencial de Especies. ***UNSE, 1***, 30 – 36.

Scheldeman, X., Willemen, L., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Romeijn-Peeters, E., Restrepo, M. T., Romero Motoche, J., Jiménez, D., Lobo, M., Medina, C. I., Reyes, C., Rodríguez, D., Ocampo, J. A., Van Damme, P., & Goetghebeur, P. (2007). Distribution, diversity and environmental adaptation of highland papaya (***Vasconcellea*** spp.) in tropical and subtropical. ***America. Biodiversity and Conservation, 16***(6), 1867 – 1884. https://doi.org/10.1007/s10531-006-9086-x

Segura, S., Coppens d'Eeckenbrugge, G., López, L., Grum, M., & Guarino, L. (2003). Mapping the potential distribution of five species of ***Passiflora*** in Andean countries. ***Genetic Resources and Crop Evolution, 50***(6), 555 – 566. https://doi.org/10.1023/A:1024424012134

Seoane, J., & Bustamante, J. (2001). Predictive habitat distribution models: A tool for integrating ecology and conservation. ***Biological Conservation, 98***(3), 333 – 343. https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00168-4

Tamina, A., & Cuentas, D. (2015). Biogeografía predictiva: Técnicas de modelamiento de distribución de especies y su aplicación en el impacto del cambio climático. ***Revista de Ciencias Ambientales UNALM, 49***(2), 91 – 109.

Thiers, B. (2021). Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. https://sweetgum.nybg.org/science/ih/

Ulmer, T., & MacDougal, J. M. (2004). ***Passiflora: Passionflowers of the world***. Timber Press.

Villaseñor, J. L., & Téllez-Valdés, O. (2004). Distribución potencial de las especies del género ***Jefea*** (Asteraceae) en México. ***Boletín de la Sociedad Botánica de México, 74***, 97 – 106.

Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., & NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. ***Diversity and Distributions***, ***14***(5), 763 – 773. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x

WorldClim. (2021). ***Bioclimatic variables — WorldClim 1 documentation***. https://www.worldclim.org/data/bioclim.html

Zhang, J., Tao, S., Hou, G., Zhao, F., Meng, Q., & Tan, S. (2023). Phytochemistry, nutritional composition, health benefits and future prospects of ***Passiflora***: A review. ***Food Chemistry***, ***428***, 136825. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136825