

Contribución de Altos de Chicauma a la Protección de la Diversidad Filogenética de la flora de la Región Metropolitana de Santiago, Chile

Contribution of Altos de Chicauma to the Protection of Phylogenetic Diversity of the Flora in the Metropolitan Region of Santiago, Chile

Francisca Torres Roquer¹, Paola Jara-Arancio^{2,3,4}, Rosa Scherson Vicencio^{5,*} & Mary T. K. Arroyo^{1,2,3}

¹Universidad de Chile, Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Las Palmeras 3425, Santiago, Chile.

²Centro Internacional Cabo de Hornos (CHIC), Universidad de Magallanes, Av. Pdte. Manuel Bulnes 1855, Punta Arenas, Chile.

³Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Victoria 631, Concepción, Chile.

⁴Universidad Andrés Bello, Departamento de Ciencias Biológicas y Departamento de Ecología y Biodiversidad, Facultad de Ciencias de la Vida, República 252, Santiago, Chile.

⁵Universidad de Chile, Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Av. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile.

*Corresponding author: rositascherson@uchile.cl

RESUMEN

Las áreas protegidas permiten resguardar la biodiversidad, principalmente riqueza y endemismo. Sin embargo, no consideran la contribución evolutiva. La Diversidad Filogenética (DF) incorpora la historia evolutiva acumulada de las especies, permitiendo priorizar zonas que aporten una gama de atributos provenientes de esta historia. El hotspot de Chile central destaca por su alta DF y riqueza. La Región Metropolitana de Santiago (RM), al centro de esta zona, cuenta con varias áreas protegidas, principalmente en la cordillera de los Andes. Al límite oeste de la RM, en la cordillera de la Costa, se encuentra “Altos de Chicauma”, parte de uno de los 23 Sitios Prioritarios para la Conservación, de importancia biogeográfica y bioclimática. Este estudio cuantificó el aporte de Altos de Chicauma a la protección de la DF de la flora vascular de la RM en la cordillera de la Costa. Se recopiló información florística del sitio y se comparó con la flora completa de la RM, desde la que se construyó una filogenia base. Adicionalmente, se identificó el estado de conservación y procedencia de las especies del área de estudio. Altos de Chicauma, con 506 especies de plantas vasculares y una superficie del 0,52% de la RM, conserva el 46,8% de la DF, un 55,0% de la DF de las especies endémicas y un 43,5% de la DF de las especies con problemas de conservación. Se concluye que Altos de Chicauma es un área de alto potencial para proteger la DF y riqueza de especies de la RM.

Palabras clave: área protegida, biodiversidad, historia evolutiva.

ABSTRACT

Protected areas play a key role in safeguarding biodiversity, particularly species richness and endemism. However, they often overlook evolutionary contributions. Phylogenetic Diversity (PD) incorporates the accumulated evolutionary history of species, allowing the identification of areas that preserve a broader range of evolutionary attributes. The Chilean Mediterranean hotspot stands out for its high PD and species richness. Within this hotspot, the Metropolitan Region of Santiago (RM) contains several protected areas, mainly in the Andes. On the western edge of the RM, in the Coastal Range, lies “Altos de Chicauma,”

part of one of the 23 Priority Sites for Conservation, recognized for their biogeographic and bioclimatic importance. This study quantified the contribution of Altos de Chicauma to the protection of PD for the vascular flora of the RM in the Coastal Range. We compiled floristic information from the site and compared it with the complete flora of the RM, from which a baseline phylogeny was constructed. We also identified the conservation status and origin of the species in the study area. Altos de Chicauma, with 506 vascular plant species and covering 0.52% of the RM, protects 46.8% of the region's PD, 55.0% of the PD of endemic species, and 43.5% of the PD of species of conservation concern. Our results indicate that Altos de Chicauma is a highly valuable area for safeguarding the PD and species richness of the RM.

Keywords: biodiversity, evolutionary history, protected area.

INTRODUCCIÓN

La biodiversidad es un concepto clave para la conservación, la cual es consecuencia de la conjunción de la adaptación de procesos evolutivos, históricos y geológicos únicos (Heydar et al. 2020; Núñez et al. 2003). La evolución de los seres humanos ha estado altamente ligada con la transformación de la biodiversidad (Núñez et al. 2003), en gran parte directamente relacionada con las amenazas, que son o fueron en el pasado, provocadas por actividades antrópicas directas o indirectas. Un ejemplo es la agricultura, labor que genera altos costos ecológicos debido a la utilización de agua dulce y expansión de territorios de cultivo hacia ecosistemas no intervenidos (Díaz et al. 2006; Williams et al. 2020). A lo anterior se suma la sobreexplotación de especies, destrucción y pérdida de hábitat, homogenización de la biota y contaminación por uso de combustibles fósiles (Tellería 2013). Por otra parte, las condiciones ambientales desfavorables como el calentamiento global y el adelgazamiento de la capa de ozono son fuentes de amenazas para diversos servicios ecosistémicos, los cuales dependen de la biodiversidad (Díaz et al. 2006; Kilinc et al. 2013). Las constantes amenazas hacen imprescindible que los países encuentren formas de maximizar la protección de su biodiversidad.

Hasta ahora, la protección de la biodiversidad en diferentes lugares, incluido Chile, se ha basado principalmente en resguardar porciones de ecosistemas que preserven la mayor riqueza de especies de flora y fauna (Castaño-Villa 2005). Las áreas de protección aspiran principalmente a separar la biodiversidad de los procesos que representan una amenaza para éstas y mostrar la biodiversidad representativa de un lugar (Zamora-Abrego et al. 2013). En Chile, la Ley 26.600 (Ministerio del Medio Ambiente 2023), la cual tiene por objeto la conservación de la biodiversidad y la protección

del patrimonio natural del país, define el concepto de “Área Protegida”, que considera porciones de territorio, delimitadas geográficamente, para preservar la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental. Éstas son diseñadas como herramientas de gestión para la protección del patrimonio natural, preservar ecosistemas naturales, actuar como refugios para especies y conservar procesos ecológicos (Ministerio del Medio Ambiente 2023; Simonetti-Grez et al. 2015). Adicionalmente, a través de la ley 19.300, se reconoce los llamados “Sítios Prioritarios de Conservación” (Ministerio del Medio Ambiente s.f.b.).

Tradicionalmente, la riqueza ha sido considerada como la métrica para designar áreas protegidas (Amézquita et al. 1999). Sin embargo, esta forma de selección le asigna un valor idéntico a cada especie, omitiendo las contribuciones diferenciales de cada una de estas a la variabilidad de caracteres o atributos contenidos en un conjunto de taxones (Hernández-Ruedas et al. 2019). Actualmente, existen nuevas herramientas que dan cuenta de esta limitación, siendo una de ellas la Diversidad Filogenética (DF), la cual representa la historia evolutiva contenida en un grupo de especies. Analizar la historia evolutiva de las especies determina el grado en que éstas se encuentran emparentadas y evalúa la rareza y riqueza filogenética al ser un índice de potencial evolutivo. El uso de la DF permite priorizar las zonas filogenéticamente distintas (Faith 1992, Hernández-Ruedas et al. 2019; Scherson 2018), por lo que resguardar la DF brinda no sólo protección a los atributos existentes, sino que también futuros, pues incorpora procesos subyacentes a los de la biodiversidad actual (Mardones & Scherson 2023; Scherson et al. 2017). El uso de la DF en la selección de áreas protegidas permite proteger la resiliencia de los ecosistemas y muy importantemente, el valor de opción, que tiene que ver con la manera en la cual la biodiversidad entrega bienes y servicios a generaciones

futuras (Gumbs *et al.* 2023). Por otro lado, un sistema de áreas protegidas que considere diversidad evolutiva está pensado para proteger no sólo especies, sino que linajes completos del árbol de la vida con todos los atributos acumulados en millones de años de evolución (Kling *et al.* 2018).

En Chile central se emplaza el Chilean Winter Rainfall-Valdivian Forest hotspot (Myers *et al.* 2000, Arroyo *et al.* 2004), el cual está conformado por bosques siempreverdes, bosques deciduos con alta presencia de especies del género *Nothofagus*, bosques esclerófilos, matorrales de clima mediterráneo y flora altoandina presente sobre el límite arbóreo. Se caracteriza por una alta riqueza de especies, muchas de ellas endémicas (Arroyo *et al.* 1995, Arroyo *et al.* 2006, Bellard *et al.* 2014). A una escala espacial mayor, se ha mostrado que esta zona del país se caracteriza por una alta diversidad filogenética en comparación con el norte y sur del país (Scherson *et al.* 2017). En el centro del hotspot se ubica la Región Metropolitana de Santiago (RM), la cual cuenta con una superficie de 1.540.320 ha. Se caracteriza por ser una de las áreas más pobladas del país, con mayor intervención antrópica y susceptible al cambio climático (Arroyo *et al.* 2000; Fuentes-Castillo *et al.* 2019; Biblioteca del Congreso Nacional - BCN s.f.a.). Presenta un régimen semiárido influenciado por un marcado efecto oceánico, la cordillera de los Andes, y el Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO). Actualmente, la Región Metropolitana de Santiago (RMS) cuenta con una superficie protegida equivalente al 17% del territorio regional, distribuida en cuatro Áreas Protegidas del Estado (SNASPE) (dos Parques Nacionales, un Monumento Nacional y una Reserva Nacional) y trece Áreas Protegidas Privadas (en la categoría de Santuario de la Naturaleza) (<https://biodiversidadrm.mma.gob.cl/ecosistemas-terrestre/areas-protegidas/>). Sin embargo, en ambas categorías de conservación (SNASPE y Santuarios), las áreas protegidas se concentran fuertemente en la cordillera de Los Andes (94 y 95%, respectivamente), evidenciando un evidente déficit en la protección de la biodiversidad de la cordillera de la Costa.

En adición a las unidades de SNASPE y Santuarios de la Naturaleza privados, dentro de la RM se han reconocido 23 áreas como Sitios Prioritarios para la Conservación (<https://simbio.mma.gob.cl/cbasp>) que buscan resguardar la biodiversidad, conservar el patrimonio ambiental y custodiar la preservación de la naturaleza. En el límite oeste entre la RM y la Región de Valparaíso se encuentra la cordillera de la Costa, la cual es un cordón montañoso con cumbres superiores a 2.000 m.s.n.m. con gran importancia bioclimática y biogeográfica. Se caracteriza por dificultar el ingreso de las influencias oceánicas hacia el interior del territorio, marcando grandes diferencias entre el lado occidental y oriental (Di Castri & Hajek 1976), lo cual se ve reflejado en la vegetación.

Existen antecedentes que señalan la importancia de este cordón montañoso en la mantención de la diversidad tanto de especies como genética, además de comunidades de bosques templados, ante diversas catástrofes climáticas ocurridas en el sur de América del Sur (Villagrán & Armesto 2005).

En dicho cordón cordillerano, se encuentra el sitio prioritario "El Roble" de la Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana (CONAMA 2004; Ministerio de Medio Ambiente s.f.b). Dentro del sitio mencionado se encuentra Altos de Chicauma, el cual fue propuesto como "Sitio Prioritario para la Conservación", zona caracterizada por la existencia de poblaciones de *Nothofagus macrocarpa* (A. DC.) F.M. Vázquez & R.A. Rodr. (Espinoza 1935; Gajardo 2001; Muñoz *et al.* 1996), especie dominante de los bosques de altura, en categoría de amenaza. Esta localidad presenta tres unidades vegetacionales: "bosque esclerófilo precordillerano, bosque caducifolio montano y estepa altoandina mediterránea" (García 2006). La presencia de tres tipos de vegetación en un área relativamente pequeña (Fig. 1) sugiere que su protección formal por el Estado significaría una contribución importante a la protección tanto de la biodiversidad como de la DF de la RM. Los Sitios Prioritarios para la Conservación, hasta que se traspasan a otra categoría de conservación no están legalmente protegidos por el Servicio Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), por lo que pueden ser sujetos a actividades productivas. La nueva ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) establece que, por dos años posteriores a la publicación de la Ley, estos sitios conservarán su estatus, sin embargo, luego de ese período, el Ministerio del Medio Ambiente deberá reevaluar su condición de protección (Arts. 28a y 29, Manzour 2024). Debido a la ley actual, resulta conveniente analizar el valor de conservación de áreas que forman parte de Sitio Prioritarios para evaluarlas como insumos para su eventual protección permanente por el Estado.

El presente estudio tiene por objetivo evaluar el aporte de Altos de Chicauma a la protección de la biodiversidad de la Región Metropolitana de Santiago, Chile. Para ello se propone medir la contribución relativa de Altos de Chicauma a la diversidad filogenética y riqueza total de la flora vascular de la Región Metropolitana, así como también evaluar el endemismo de las especies que aquí se albergan, y la protección de especies con amenazas a su conservación.

Aunque la diversidad filogenética (DF) suele estar positivamente relacionada con la riqueza de especies, se ha observado un desacople entre ambos índices (e.g., Forest *et al.* 2007; Daru *et al.* 2014), ya que la DF responde a patrones históricos y evolutivos. En este sentido, se espera que áreas que albergan taxones de carácter más ancestral

—frecuentemente ubicados en ramas más largas dentro de la filogenia— presenten una DF superior a la esperada en función de su riqueza específica. Dada la relevancia de la cordillera de la Costa por su alta riqueza y endemismo de especies, así como por su rol como refugio glacial de flora con características relictas (García 2010; Lavandero et al. 2020, 2021; Romero-Garate & Teillier 2014), se espera que esta zona aporte de manera destacada a la diversidad filogenética regional. En particular, se propone que Altos de Chicauma exhibiría un porcentaje de DF mayor que el porcentaje de riqueza de especies que representa dentro del contexto de la Región Metropolitana.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Las áreas de estudio están situadas en Chile central. La Región Metropolitana posee una superficie de 1.540.320 ha y está ubicada entre los 32°55'-34°19' S y los 69°47'- 71°43' W. Se compone administrativamente por seis provincias: Cordillera, Maipo, Santiago, Chacabuco, Melipilla y Talagante (Ubilla-Bravo & Villegas 2017, Fig. 1). Altos de Chicauma se encuentra en la provincia de Chacabuco entre los 33°09'-33°17' S y 70°53'-71°00' W (Fig. 1) abarcando altitudes desde 520 hasta más de 2000 m. Corresponde a parte del macizo montañoso de la cordillera de la Costa, la cual se extiende desde el río Aconcagua hasta el río Maipo (García 2006). Posee una superficie de 8.000 ha, la cual corresponde al 9,0% del Sitio Prioritario “El Roble” y 0,52% de la superficie de la RM (Región Metropolitana de Santiago, 33° S). El área estudiada comprende dos predios principales: el fundo Chicauma (Reserva Cora N° 2) y el fundo Las Mercedes de Chicauma. El terreno es de propiedad privada.

RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN FLORÍSTICA

Tellier et al. (2022) publicaron la flora completa de la Región Metropolitana de Santiago, la que se usó como la lista base de este estudio. Con el fin de complementar esta lista, y verificar sinónimos, se consultó el Catálogo de Plantas Vasculares de Chile (Rodríguez et al. 2018, y sus actualizaciones en línea disponibles en <http://catalogoplantas.udec.cl/>). De esta manera se pudo obtener una lista única de especies vasculares nativas con su nomenclatura actualizada. Para evitar duplicar la información genética en la filogenia, sólo se consideraron los taxones a nivel de especie, eliminando subespecies, variedades y afinidades, como lo propone Jin & Qian (2022). No se consideraron las especies exóticas debido a que éstas no guardan relación con la historia biogeográfica y evolutiva de la zona. Si bien, teóricamente dichas especies podrían

aumentar la diversidad filogenética al introducir linajes evolutivos de otras partes del mundo, lo ideal es eliminar las especies exóticas de áreas protegidas en lo posible. La lista completa de las especies para la Región Metropolitana consideradas en este estudio se encuentra en el Anexo 1, y disponible en <https://doi.org/10.5281/zenodo.15627851>. El listado de especies presentes en Altos de Chicauma (Anexo 1 y <https://doi.org/10.5281/zenodo.15627851>) se basó en García (2010). Se revisó la procedencia de las especies para trabajar únicamente con aquellas especies endémicas y nativas. Posteriormente se depuró para trabajar a nivel de especie, excluyendo subespecies y variedades.

CATEGORÍA DE PROTECCIÓN DE ESPECIES

Para obtener la categoría de conservación vigente en Chile de las especies trabajadas en el presente estudio, se consultó el Inventario Nacional de Especies de Chile (Ministerio de Medio Ambiente s.f.a.) (Anexo 1). Los datos corresponden a las especies clasificadas hasta la fecha 24 de septiembre de 2023.

RECONSTRUCCIÓN FILOGENÉTICA

Se generó una reconstrucción filogenética (Anexo 2, también disponible en <https://doi.org/10.5281/zenodo.15627929>) a partir del listado de especies de la RM mediante el paquete V.PhyloMaker (Jin & Qian, 2019) en el software R v4.5.0 (R Core Team, 2024). Inicialmente, siete taxones del listado de especies no fueron reconocidos dentro del megatree de V.PhyloMaker. *Gardoquia gilliesii*, *Latace andina* y *Oxybasis macrosperma* fueron reemplazadas por sus sinónimos *Satureja gilliesii*, *Nothoscordum andinum* y *Chenopodium macrospermum*, respectivamente. Las especies *Solaria miersioides*, *Speea humilis* y *Gethyrum atropurpureum* fueron ubicadas manualmente dentro de la familia Amaryllidaceae en la filogenia, en base a que las tres especies mencionadas pertenecen a subfamilias de dicho clado (Fay & Hall 2007; Escobar et al. 2012). *Lepuropetalum spathulatum* fue ubicado de manera manual en una politomía con *Maytenus*.

ANÁLISIS DE DIVERSIDAD FILOGENÉTICA (DF)

Para calcular la DF se utilizó el software Biodiverse 4.2 (Laffan et al. 2010). Dicho análisis se realizó utilizando el árbol filogenético de la flora de la RM (ver sección anterior).

Se realizaron tres cálculos de DF. El primero determinó la proporción de DF que resguarda Altos de Chicauma de la flora total de la RM. Posteriormente se calculó la DF que Altos de Chicauma resguarda de las especies endémicas de la RM. Por último, se calculó la DF que resguarda Altos de Chicauma de las especies que presentan problemas de conservación de la RM.

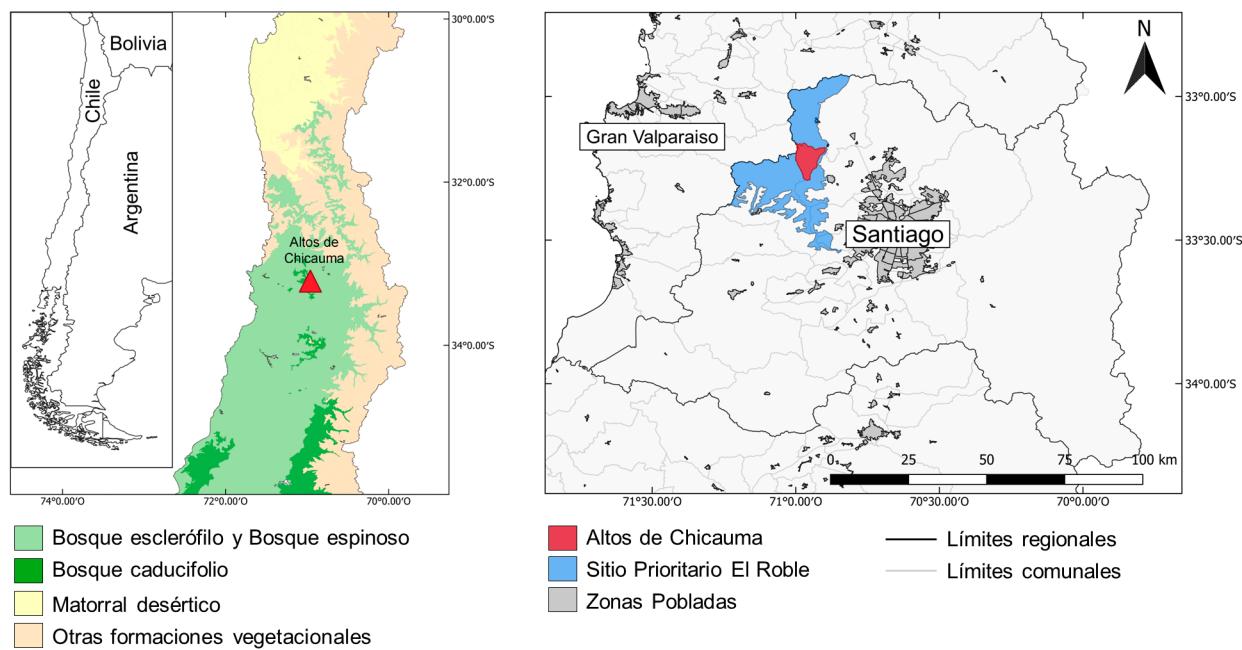


FIGURA 1. Ubicación Altos de Chicauma en la Región Metropolitana de Santiago (RM) en Chile central. Panel izquierdo. Ubicación con relación a los pisos de vegetación de Chile central. Pisos de vegetación de Luebert & Pliscoff (2018). Panel derecho: Ubicación dentro del sitio prioritario de El Roble y con relación a las grandes urbes de Santiago y Valparaíso (Elaboración propia). (Polígono de Altos de Chicauma: García (2010); polígono de Sitio Prioritario El Roble: <https://simbio.mma.gob.cl/CbaSP/Details/1411>). / Location of Altos de Chicauma in the Metropolitan Region of Santiago (RM) in central Chile. Vegetation types from Luebert & Pliscoff (2018). Right panel: Location within the El Robles Priority Site for Conservation and in relation to the major urban centers of Santiago and Valparaíso (Own elaboration).

RESULTADOS

PROCEDENCIA FITOGEOGRÁFICA DE LAS ESPECIES

Se obtuvo un total de 1595 especies para la Región Metropolitana, las cuales pertenecen a 497 géneros y 126 familias (Anexo 1), donde 935 especies son de procedencia nativa (58,6%), 627 endémicas de Chile (39,3%) y 33 estrictamente endémicas de la RM (2,1%; Fig. 2). Por otra parte, para Altos de Chicauma, se encontró un total de 506 especies pertenecientes a 246 géneros y 87 familias (Anexo 1), donde 263 especies son de origen nativo (52,0%), 240 endémicas de Chile (47,4%) y tres estrictamente endémicas de la RM (0,6%; Fig. 2). La frecuencia de las especies nativas versus el total de endémicas no presenta una diferencia significativa ($\chi^2 = 6,92$; $p = 0,08524$), sin embargo, este último origen fitogeográfico presenta mayor representatividad dentro de

Altos de Chicauma en comparación al total de las especies de la RM (48,0% vs 41,4% respectivamente). Considerando el tamaño y procedencia de su flora, Altos de Chicauma protege un 31,7% de la flora total de la RM, un 38,3% de las especies endémicas de Chile que habitan esta Región, y un 9,1% de las especies que son endémicas estrictas de la RM.

CATEGORÍA DE CONSERVACIÓN

Para la Región Metropolitana, se obtuvo información de categoría de conservación sólo para 73 especies (4,6%). Otras 778 especies (48,8%) se encuentran dentro del inventario Nacional de Especies (MMA) sin la información respectiva (Datos Deficientes). Las 744 especies restantes (46,6%) no se encontraron en el listado oficial. Veintisiete especies con información de categoría de conservación se encuentran representadas en Altos de Chicauma (5,3% de la flora total).

Para las especies catalogadas como “Datos Deficientes”, 317 se encuentran en Altos de Chicauma (62,6% de la flora total) mientras 162 especies (32,0%) del área de estudio pertenecen a la categoría de especies que no aparecieron en los listados (Fig. 3).

Al realizar un desglose respecto a las 73 especies que cuentan con información sobre su estado de conservación en la Región Metropolitana, se obtuvo para la Región Metropolitana que el 20,5% se encuentra Casi Amenazada (15 especies), 22,0% En Peligro (16 especies), 5,5% En Peligro Crítico (cuatro especies), 30,1% está catalogado como Preocupación Menor (22 especies) y el 21,9% está en la categoría Vulnerable (16 especies). Mientras que de las 27 especies clasificadas a nivel de región que se encuentran en Altos de Chicauma, el 22,2% se encuentra en la categoría de Casi Amenazada (seis especies), 18,5% En Peligro (cinco especies), 7,4% En Peligro Crítico (dos especies), 29,6% está catalogado como Preocupación Menor (ocho especies) y 22,2% está en la categoría Vulnerable (seis especies) (Fig. 4). Con respecto a su potencial valor como territorio de conservación, Chicauma contiene 37,0% de las especies de la RM clasificadas en alguna categoría de conservación. Para

las categorías En Peligro y En Peligro Crítico combinadas, el porcentaje corresponde a un 35,0%.

RECONSTRUCCIÓN FILOGENÉTICA

El árbol filogenético (Anexo 2) muestra las relaciones filogenéticas presentes entre las 1595 especies endémicas y nativas de la RM, verificado según APG IV (The Catalogue of Life Partnership 2017).

ANÁLISIS DE DIVERSIDAD FILOGENÉTICA

Tras realizar el análisis de diversidad filogenética, se obtuvo que Altos de Chicauma contiene el 46,8% de la DF contenido en la flora de la RM (Tabla 1). Esto significa que, de la suma del largo de ramas de la filogenia de todas las especies de la flora vascular de la RM, la suma del largo de ramas de la flora que se encuentra en Altos de Chicauma representa un 46,8%. Si consideramos que la riqueza de especies protegida en este Sitio Prioritario es un 32% de la riqueza de la flora vascular de la RM, entonces se verifica nuestra hipótesis inicial, que esta zona protegida alberga una mayor DF que la esperada por su riqueza de especies.

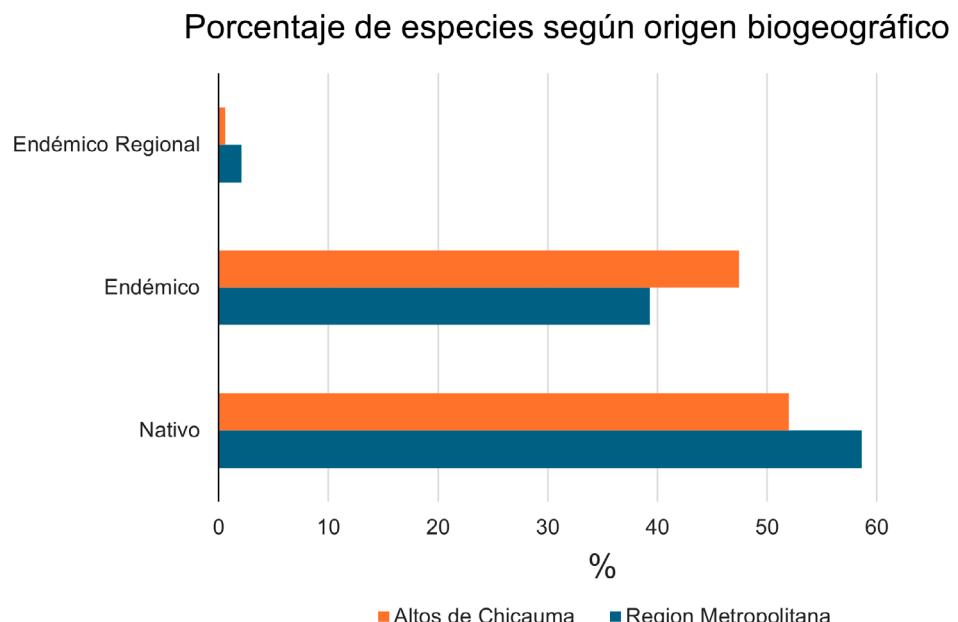


FIGURA 2. Porcentaje de especies según su origen fitogeográfico en la Región Metropolitana de Santiago y Altos de Chicauma. / Percentage of species according to their phytogeographic origin in the Metropolitan Region of Santiago and Altos de Chicauma.

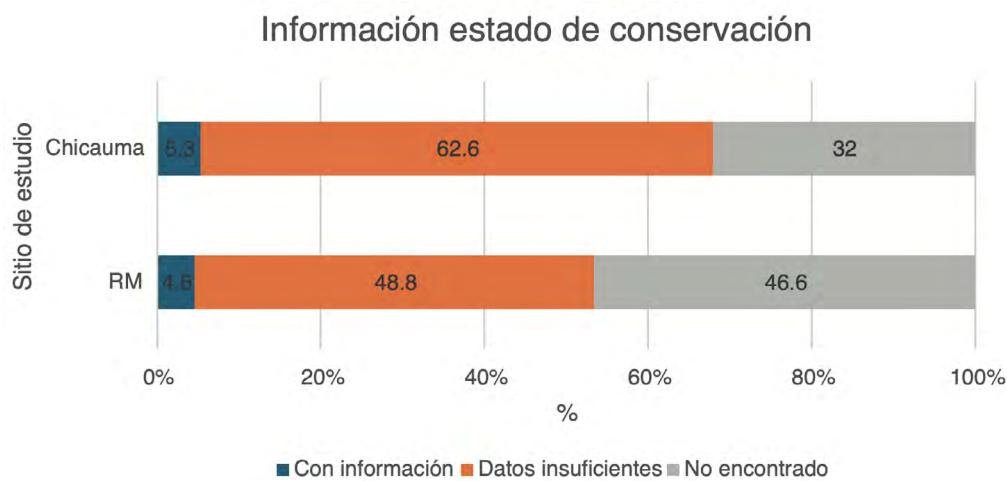


FIGURA 3. Porcentaje de especies vasculares en la Región Metropolitana de Santiago ($N = 1595$) y Altos de Chicauma ($N = 506$) según información disponible de su estado de conservación en la Región Metropolitana. “Datos deficientes” se refiere a especies mencionadas, pero sin datos suficientes como para asignarlas a alguna categoría de conservación. “No encontrado” indica especies no encontradas en el Inventario Nacional de Especies de Chile. / Number of species in the Metropolitan Region of Santiago and Altos de Chicauma according to the information available on their conservation status in the Metropolitan Region. “Data Deficient” refers to species that are mentioned but do not have enough data to assign a conservation status. “Not found” indicates species that are not found in the National Inventory of Species in Chile.

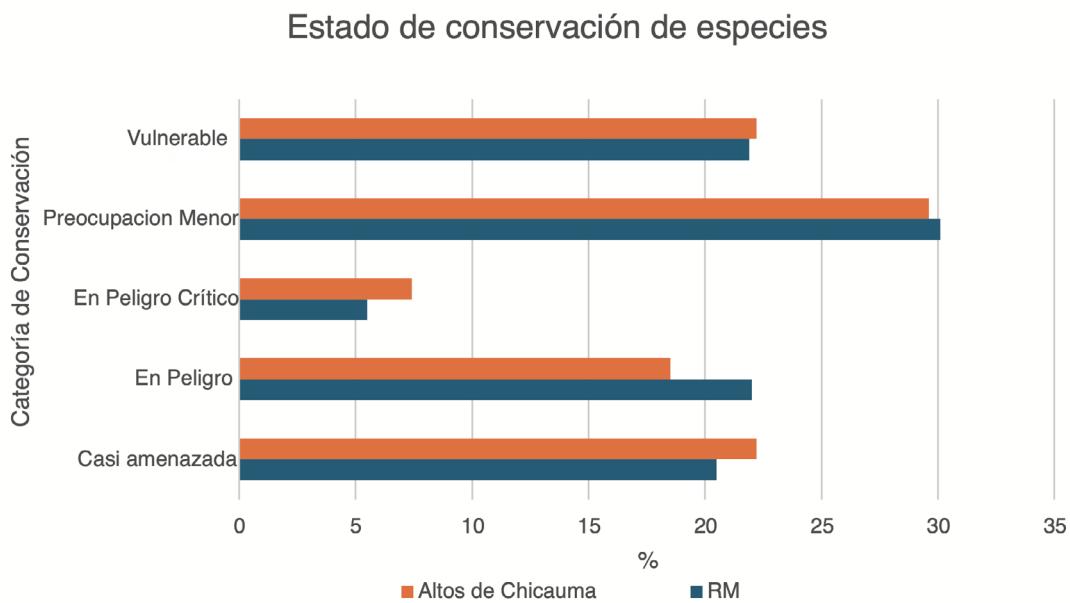


FIGURA 4. Categoría de Conservación de especies de la Región Metropolitana de Santiago y Altos de Chicauma basada en su clasificación a nivel de la Región Metropolitana. Los porcentajes se refieren a especies que han sido clasificadas en alguna categoría de conservación. / Conservation category of species in the Metropolitan Region of Santiago and Altos de Chicauma based on their classification at the regional level. The percentages refer to the species that have been classified regarding their conservation category.

Junto con lo anterior, se calculó la proporción de DF de las especies con problemas de conservación de Altos de Chicauma con relación a la DF de la RM completa, y la DF de las especies endémicas contenidas en Altos de Chicauma respecto a la RM (Tabla 1). Altos de Chicauma conserva un

55,0% de la DF de las especies endémicas y un 43,5% de la DF de las especies con problemas de conservación. De nuevo, estos resultados confirman que Altos de Chicauma es destacable en cuanto a la conservación de la DF de la RM.

TABLA 1. Proporción de diversidad filogenética (DF) de especies con problemas de conservación y especies endémicas de Altos de Chicauma (AC) respecto a la DF de las especies con problemas de conservación y especies endémicas de la Región Metropolitana (RM) respectivamente. / Proportion of phylogenetic diversity (PD) of species with conservation concerns and endemic species from Altos de Chicauma (AC) relative to the PD of species with conservation concerns and endemic species in the Metropolitan Region (MR), respectively.

Proporción de DF en especies con categoría de conservación de Altos de Chicauma respecto a las especies en categoría de RM

Valor DF especies con problemas de conservación Altos de Chicauma	0,0750
---	--------

Valor DF especies con problemas de conservación de RM	0,1723
---	--------

Total	0,4353 (45,53%)
-------	-----------------

Proporción de DF en especies endémicas de Altos de Chicauma respecto a especies endémicas de RM

Valor DF especies endémicas de Altos de Chicauma	0,2655
--	--------

Valor DF especies endémicas de RM	0,4826
-----------------------------------	--------

Total	0,5501 (55,01%)
-------	-----------------

*DF: Diversidad filogenética; RM: Región Metropolitana.

DISCUSIÓN

Elegir bien las áreas de conservación en la RM de Chile, donde hay un gran número de especies endémicas y gran parte del territorio es de uso intenso con presiones que van en aumento cada día, resulta fundamental. En las últimas décadas ha crecido el reconocimiento de la importancia de incorporar procesos evolutivos en la evaluación de taxones y ecosistemas (Forest *et al.* 2015; Robuchon *et al.* 2023). Esta perspectiva más amplia reconoce que la biodiversidad no está determinada únicamente por la riqueza y composición de especies, sino también por las relaciones evolutivas subyacentes entre los taxones. Para capturar este componente de la biodiversidad, se han desarrollado métricas conocidas como filodiversidad, que al ser aplicadas a capas espaciales dentro del paisaje se enmarcan dentro del campo de la filogenética espacial (Mishler 2023). La

diversidad filogenética (DF), el índice de filodiversidad más utilizado, ha sido propuesto por el Panel Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos IPBES como un indicador eficaz para preservar el valor de opción de la biodiversidad (IPBES 2019), fue adoptado en 2023 por el Convenio sobre la Diversidad Biológica como indicador complementario para las Metas A y B (ver Robuchon *et al.* 2023), y ha sido sugerido como una herramienta útil para la evaluación del límite planetario de biodiversidad (Mace *et al.* 2014). El argumento para el uso de este enfoque se basa en el principio de que las especies filogenéticamente cercanas comparten más atributos que aquellas más distantes, por lo que conservar taxones dispersos en la filogenia permite resguardar una mayor diversidad de características, incluidas aquellas de valor potencial para la humanidad (Faith 2018; Augeraud-Véron *et al.* 2019; Molina-Venegas 2021). El uso de esta herramienta en conservación permite estimar tanto

las consecuencias ecológicas, como la cantidad de historia evolutiva que se perdería si un área no es protegida (Daru *et al.* 2014; Véron *et al.* 2019; Kougioumoutzis *et al.* 2021). Eguiarte *et al.* (1999) y Roig-Juñent & Deband (2004), proponen la DF como una métrica útil para determinar áreas de conservación con especies e inclusive con taxones supraespecíficos que requieran mayores esfuerzos para su conservación. Mardones & Scherson (2023), al analizar la DF y otros parámetros filogenéticos en la cordillera de la Costa, observaron tres puntos evolutivos críticos al interior del Hotspot de Chile Central. Con la disponibilidad de este tipo de información se pueden enfocar los esfuerzos para conservar un mayor porcentaje de biodiversidad en un área determinada. Considerar áreas con altos niveles de DF además de otros criterios de diversidad, permite optimizar el número de áreas protegidas, ayudando a la eficiencia de los sistemas de protección (Alzate *et al.* 2018), permitiendo destinar de manera efectiva los recursos. Al sólo considerar el parámetro de riqueza de especies, la cual se usa de forma cotidiana para conservar diferentes lugares (Castaño-Villa 2005), se pierde una dimensión fundamental de la diversidad, relevante al momento de tomar decisiones de resguardo. En este contexto, el objetivo de este estudio fue analizar el aporte de Altos de Chicauma, parte del Sitio Prioritario de Conservación “El Roble”, ubicado en la cordillera de la Costa de la RM en la protección de la Diversidad Filogenética contenida en la flora vascular de esta Región. Lamentablemente no existen a la fecha más estudios de diversidad filogenética que comparen áreas protegidas dentro de esta Región. Fuentes-Castillo *et al.* (2019) estudiaron la DF de áreas de la región Mediterránea de Chile, pero lo realizaron a nivel de OTUs (grupos monofiléticos equivalentes a género) y con modelos de distribución de especies. Si bien el estudio no es comparable, sí releva la importancia de las áreas protegidas de esta zona en resguardar la DF tanto actualmente como considerando escenarios de cambio climático. En el estudio de Mardones & Scherson (2023) también se evidencia la importancia de determinadas áreas para resguardo de la DF, aunque este último estudio es más amplio y no está enfocado en una comparación entre áreas protegidas.

Se han designado 330 Sitios Prioritarios de Conservación en el país, 23 de los cuales se encuentran en la Región Metropolitana que en conjunto representan el 70% de la superficie total regional (<https://biodiversidadrm.mma.gob.cl/ecosistemas-terrestre/sitios-prioritarios/>). Sin embargo, estudios detallados sobre el valor relativo de conservación de estos sitios, que tomen en cuenta su aporte a la protección de la historia evolutiva contenida en las especies, no se han realizado. Si bien, el sitio prioritario El Roble había sido incluido en un estudio amplio de la DF en la zona mediterránea

de Chile (Vera 2020), dicho estudio fue realizado al nivel de género y no de especies como en el presente trabajo. Por otra parte, Vera (2020) no evaluó el aporte de las actuales áreas protegidas y sitios prioritarios en proteger la biodiversidad endémica y con problemas de conservación.

Se mostró que Altos de Chicauma, con 506 especies de plantas, alberga poblaciones de 31,7% de las especies vasculares encontradas en la RM. Sin embargo, se constató que el área contiene proporcionalmente más DF (46,8%) de la flora de la RM. Es decir, la contribución evolutiva de Altos de Chicauma es mayor que lo esperado en base de su aporte en riqueza de especies. Las especies endémicas y las con problemas de conservación son consideradas como focos de conservación (Jorquera-Jaramillo *et al.* 2012) ya que dan cuenta de las especies únicas en un área y susceptibles a extinción. Se mostró también que Altos de Chicauma se destaca por su aporte en conservar las especies endémicas, puesto que su aporte a la conservación de la DF tanto de las especies endémicas como del total de las especies presentes en RM supera el 50%. Por último, se constató que Altos de Chicauma alberga el 16% de las especies con problemas de conservación respecto al total de las especies presentes en la RM, y su aporte a la protección a la DF de estas especies asciende a más del 40%. Lo anterior demuestra que Altos de Chicauma presenta múltiples valores en cuanto a la conservación de la biodiversidad de la RM.

La zona mediterránea de Chile, y en particular la Región Metropolitana han estado históricamente sometidas a presiones antrópicas (Benavidez-Silva *et al.* 2021), dentro de las cuales destaca el cambio de uso de suelo para urbanización, agricultura y plantaciones forestales (Locher-Krause *et al.* 2017). También han impactado actividades como la extracción de leña, cobre, áridos y tierra de hojas, así como visitas no reguladas por parte de turistas los cuales realizan actividades de riesgo como fogatas en zonas inapropiadas, además de contaminar con basura el lugar (Valdovinos 2009, Miranda 2010). Los incendios forestales también han ido en aumento tanto en intensidad como en frecuencia (Seidl *et al.* 2017, Azócar de la Cruz *et al.* 2022), sin embargo, es el cambio de uso de suelo el factor que más ha impactado a la biodiversidad en la zona (Braun *et al.* 2017). Las redes de áreas protegidas (AP) constituyen la principal estrategia global para la conservación de la biodiversidad y representan la primera línea de acción frente a la degradación y pérdida de hábitat para las especies (Jenkins & Joppa 2009). De hecho, una de las principales preocupaciones en conservación biológica es aumentar la eficiencia de las redes de AP, especialmente ante la incertidumbre generada por el cambio climático (Ludovicy *et al.* 2022). A nivel mundial, el Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas incluyó entre las Metas de

Aichi la protección del 17% de las áreas terrestres para el año 2020 (Butchart *et al.* 2016). No obstante, la Meta 3 del nuevo Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal –adoptado este año y del cual Chile es país signatario– establece aumentar esa proporción al 30% al año 2030. El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en Chile, establecido en la década de 1980, fue diseñado principalmente para alcanzar representatividad ambiental (Ormazábal 1993). Desde entonces, el SNASPE se ha expandido proporcionalmente para abarcar una diversidad de unidades de vegetación, protegiendo actualmente el 22% del territorio terrestre nacional. Sin embargo, esta protección presenta un marcado desequilibrio espacial, ya que la mayoría de las áreas protegidas se concentran en la Patagonia chilena (Luebert & Becerra 1998; Pliscoff & Fuentes-Castillo 2011). En consecuencia, otras zonas del país presentan niveles insuficientes de protección y enfrentan dificultades de conectividad entre las AP, siendo la zona centro de Chile la macrozona menos protegida (Pliscoff & Fuentes-Castillo 2011). Además, Chile ha sido señalado entre los diez países con mayor déficit de financiamiento para el desarrollo de áreas protegidas (Vilela *et al.* 2022). Dado el reciente compromiso asumido por el país, el carácter desequilibrado de la red de protección y la falta de financiamiento para el desarrollo de nuevas AP, resulta imperativo diseñar una estrategia eficiente para incorporar el 30% comprometido, a su vez, dando prioridad a dichas Regiones que están subrepresentadas en el sistema actual. Entre éstas, el presente trabajo sugiere que Altos de Chicauma debe tener prioridad dentro la RM. Desde luego, si bien este trabajo muestra el innegable valor de Altos de Chicauma para la conservación de la DF de la RM, esta área por sí sola no es suficiente para representar la gama de variación genética contenida en las especies de la Región; para esto se requiere que esta área sea parte de una red de áreas protegidas que cubran la diversidad de situaciones geográficas en la RM, considerando tanto la cordillera de la Costa, como la cordillera de los Andes y la depresión central.

Para avanzar, sería útil repetir los análisis llevados a cabo en este trabajo por lo menos para las áreas protegidas de la RM del SNASPE y los Santuarios de la Naturaleza, con la finalidad de evaluar la efectividad de la presente red de áreas protegidas para la protección de las especies y DF de la Región. Esto debe incluir una extensión del Parque Glaciares de Chile impulsada por CONAF a través de la creación del Área de Conservación de Múltiples Usos Olivares-Colorado (CONAF s.f.), iniciativa que fue aprobada por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático el viernes 23 de mayo 2025, pero aún no decretada. Lamentablemente, a la fecha existen listados florísticos completos, insumos fundamentales para el análisis de riqueza, endemismo y DF,

sólo para dos de las cinco unidades del SNASPE (Monumento El Morado: Teillier *et al.* 1994, 2005; Parque Nacional Río Clarillo: Teillier 2003) y para un número limitado de los 13 Santuarios de la Naturaleza (e.g., Yerba Loca: Arroyo *et al.* 2002; Altos de Cantillana: Romero-Gárate & Teillier 2014). Dado que el uso de indicadores como el presentado en este estudio, basado en relaciones evolutivas, representa una alternativa confiable y reproducible para optimizar una red de áreas protegidas, es recomendable impulsar los estudios básicos de las floras de las unidades del SNASPE, Santuarios de la Naturaleza y Sitios Prioritarios para la Conservación donde este tipo de información aún está faltando.

En síntesis, el 46,8% de la DF de la flora de la RM, 55,0% de la DF de las especies endémicas, y 43,5% de la DF de las especies con problemas de conservación, se encuentra en los Altos de Chicauma en un área que corresponde a 0,52% del área total de la RM. Este resultado señala que áreas relativamente pequeñas pueden ser potencialmente muy relevantes para la conservación de la flora de la RM. Dicha área también tiene relevancia para la conservación de la fauna (Valdovinos 2009), al ser uno de los sitios que aun preserva lugares sin intervención antrópica, sobre todo que dicho sitio aún conserva zonas que presentan vegetación no intervenida (Miranda 2010), los cuales cada vez son menos frecuentes en la RM.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se basó en el Seminario de Título de Francisca Torres, aprobado por la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. La investigación fue financiada por FONDECYT Regular Proyecto 1221540, Cape Horn International Center CHIC-ANID PIA/BASAL PFB210018 e Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) IEB-ANID PIA/BASAL FB210006. Paola Jara-Arancio agradece a Fondecyt 1230717. Los autores agradecen a Ítalo Tamburriño y Claudio Silva por su ayuda y consejos durante el estudio.

REFERENCIAS

- Alzate, F., Álvarez, A., Miranda-Esquível, D.R., Morrone, J.J. 2018. Aplicación de índices filogenéticos para la definición de prioridades de conservación en los páramos del noroeste de los Andes. Revista de Biología Tropical 66(4): 1353-1361.
- Amézquita, S.J., Forsyth, A., Lopera, A., Camacho, A. 1999. Comparación de la composición y riqueza de especies de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en

- remanentes de bosque de la Orinoquía Colombiana. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 76: 113-126.
- Arroyo, M.T.K., Cavieres, L., Marticorena, C., Muñoz-Schick, M. 1995. Convergence in the mediterranean Floras in Central Chile and California: Insights from Comparative Biogeography. *Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California, and Australia*: 43-88. Springer-Verlag, New York.
- Arroyo, M.T.K., Marticorena, C., Matthei, O., Cavieres, L. 2000. Plant invasions in Chile: present patterns and future predictions. In: Mooney, H.A., Hobbs, R. (Eds.) *Invasive Species in a Changing World*: 385-421. Island Press, New York.
- Arroyo, M.T.K., Marticorena, C., Matthei, O., Muñoz, M., Pliscoff, P. 2002. Analysis of the contribution and efficiency of the Santuario de la Naturaleza Yerba Loca, 33° S in protecting the regional vascular plant flora (Metropolitan and Fifth regions of Chile). *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(4): 767-792.
- Arroyo, M.T.K., Marquet, P., Marticorena, C., Simonetti, J., Cavieres, L., Squeo, F., Rozzi, R. 2004. Chilean winter rainfall-Valdivian forests. In: Mittermeier, R.A., Gil, P.R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G., Lamoreux, J., DA Fonseca, G.A.B. (Eds.) *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Wealthiest and Most Threatened Ecosystems*: 99-103. CEMEX, México D.F.
- Arroyo, M.T.K., Marquet, P., Marticorena, C., Simonetti, J., Cavieres, L., Squeo, F., Rozzi, R., Massardo, F. 2006. En: Comisión Nacional del Medio Ambiente (Chile). *Diversidad de Chile: Patrimonios y Desafíos*: 94-97.
- Augeraud-Véron, E., Fabbri, G., Sschubbert, K. 2019. The value of biodiversity as an insurance device. *American Journal of Agricultural Economics* 101(4): 1068-1081. <https://doi.org/10.1093/ajae/aaz002>
- Azócar de la Cruz, G., Alfaro, G., Alonso, C., Calvo, R., Orellana, P. 2022. Modeling the ignition risk: Analysis before and after megafire on Maule Region, Chile. *Applied Sciences* 12: 9353. <https://doi.org/10.3390/app12189353>
- Bellard, C., Leclerc, C., Leroy, B., Bakkenes, M., Veloz, S., Thuiller, W., Courchamp, F. 2014. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology and Biogeography* 23(12): 1376-1386.
- Benavidez-Silva, C., Jensen, M., Pliscoff, P. 2021. Future scenarios for land use in Chile: Identifying drivers of change and impacts over protected area system. *Land* 10: 408. <https://doi.org/10.3390/land10040408>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (s.f.a). Región Metropolitana de Santiago, Chile Nuestro País. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/region13>
- Braun, A., Troeger, D., García, R., Aguayo, M., Barra, D., Vogt, J. 2017. Assessing the impact of plantation forestry on plant biodiversity: A comparison of sites in central Chile and Chilean Patagonia. *Global Ecology and Conservation* 10: 159-172.
- Butchart, S., Di Marco, M., Watson, J. 2016. Formulating smart commitments in biodiversity: lessons from the Aichi targets. *Conservation Letters* 9: 457-468.
- Castaño-Villa, G.J. 2005. Áreas protegidas, criterios para su selección y problemáticas en su conservación. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural* 10: 79-101.
- CONAF (s.f.). CONAF en regiones, Región Metropolitana. <https://www.conaf.cl/conaf-en-regiones/region-metropolitana/>
- CONAMA. 2004. Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago. Santiago, Chile. 98 pp.
- Daru, B.H., van Der Bank, M., Davies, T.J. 2014. Spatial incongruence among hotspots and complementary areas of tree diversity in southern Africa. *Diversity and Distributions* 21: 769-780.
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F.S., Tilman, D. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology* 4(8): e277. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Di Castri, F., Hajek, E. 1976. *Bioclimatología de Chile*. Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 32 pp.
- Eguiarte, L., Larson-Guerra, J., Nuñez-Farfán, J., Martínez-Palacios, A., Santos del Prado, K., Arita, H. 1999. Diversidad filogenética y conservación: ejemplos a diferentes escalas y una propuesta a nivel poblacional para *Agave victoriae-reginae* en el desierto de Chihuahua, México. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 475-492.
- Escobar, I., Ruiz, E., Baeza, C. 2012. Estudios cariotípicos en especies de *Gilliesieae* Lindl. (*Gilliesioideae-Alliaceae*) de Chile central. *Gayana Botánica* 69(2): 240-250.
- Espinosa, M.R. 1935. Apuntes botánicos. I. La roblería más cercana de Santiago. *Revista Chilena de Historia Natural* 39: 282-283.
- Faith, D.P. 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation* 61: 1-10.
- Faith, D.P. 2018. Phylogenetic diversity and conservation evaluation: perspectives on multiple values, indices, and scales of application. In: Scherson, R., Faith, D.P. (Eds.) *Phylogenetic Diversity. Applications and Challenges in Biodiversity Science*: 1-26. Springer, Cham, Switzerland.
- Fay, M.F., Hall, T. 2007. *Gethymum atropurpureum* (Alliaceae). *Curtis's Botanical Magazine* 24(2): 121-126.
- Forest, F., Grenyer, R., Rouquet, M., Davies, T.J., Cowling, R.M., Faith, D.P., Balmford, A., Manning, J.C., Proches, S., van der Bank, M., Reeves, G., Hedderon, T.A., Savolainen, V. 2007. Preserving the evolutionary potential of floras in biodiversity hotspots. *Nature* 445: 757-760.
- Forest, F., Crandall, K.A., Chase, M.W., Faith, D.P. 2015. Phylogeny, extinction and conservation: embracing uncertainties in a time of urgency. *Philosophical Transactions of the Royal*

- Society B 370: 20140002.
- Fuentes-Castillo, T., Scherson, R.A., Marquet, P.A., Fajardo, J., Corcoran, D., Román, M.J., Pliscoff, P. 2019. Modelling the current and future biodiversity distribution in the Chilean Mediterranean hotspot. The role of protected areas network in a warmer future. *Diversity and Distributions* 25: 1897-1909. <https://doi.org/10.1111/ddi.12988>
- Gajardo, R. 2001. Antecedentes sobre el "roble de Santiago" o "roble blanco" (*Nothofagus macrocarpa*) y sus problemas de conservación. *Revista Bosque Nativo* (Valdivia) 28: 3-7.
- García, N. 2006. Análisis florístico comparativo de la vegetación alto-andina de la cordillera de la Costa y de los Andes de Chile central. Memoria de Título, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 61 pp.
- García, N. 2010. Caracterización de la flora vascular de Altos de Chicauma, Chile (33° S). *Gayana Botánica* 67: 65-112.
- Gumbs, R., Chaudhary, A., Daru, B.A., Faith, D.A., Forest, F., Gray, C.L., Kowalska, A., Lee, W.S., Pellens, R., Pipins, S., Pollock, R.J., Rosindell J., Scherson, R.A., Owen, N.R. 2023. Indicators to monitor the status of the tree of life. *Conservation Biology* 37(6): e14138. <https://doi.org/10.1111/cobi.14138>.
- Hernández-Ruedas, M.A., Gómez-Ortiz, Y., Herrera-Alsina, L., Pérez-Hernández, C.X. 2019. La diversidad filogenética y su utilidad para la conservación de la biodiversidad. En: Moreno, C.E. (Ed) La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio: 307-323. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Libermex, Ciudad de México.
- Heydari, M., Omidipour, R., Greenlee, J. 2020. Biodiversity, a review of the concept, measurement, opportunities, and challenges. *Journal of Wildlife and Biodiversity* 4(4): 26-39.
- IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E.S., Ngo, H.T., Gueze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H.M., et al. (Eds) IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pp.
- Jenkins, C., Joppa, L. 2009. Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biological Conservation* 142(10): 2166-2174.
- Jin, Y., Qian, H. 2019. VPhyloMaker: an R package that can generate very large phylogenies for vascular plants. *Ecography* 42: 1353-1359.
- Jin, Y., Qian, H. 2022. PhyloMaker2: An updated and enlarged R package that can generate very large phylogenies for vascular plants. *Plant Diversity* 44(4): 335-339.
- Jorquera-Jaramillo, C., Vega, A., Aburto, J., Martínez-Tillería, K., León, M., Pérez, M., Gaymer, C., Squeo, F. 2012. Conservación de la biodiversidad en Chile: Nuevos desafíos y oportunidades en ecosistemas terrestres y marinos costeros. *Revista Chilena de Historia Natural* 85(3): 267-280.
- Kilinc, A., Yesiltas, N.K., Kartal, T., Demiral, Ü., Eroglu, B. 2013. School students' conceptions about biodiversity loss: Definitions, reasons, results and solutions. *Research in Science Education* 43(6): 2277-2307.
- Kling, M.M., Mishler, B.D., Thornhill, A.H., Baldwin, B.G., Ackerly, D.D. 2018. Facets of phylogenetic diversity: evolutionary diversification, divergence and survival as conservation targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 374: 20170397. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2017.0397>
- Kougioumoutzis, K., Kokkoris, I.P., Panitsa, M., Strid, A., Dimopoulos, P. 2021. Extinction Risk Assessment of the Greek Endemic Flora. *Biology* 10: 195. <https://doi.org/10.3390/biology10030195>
- Laffan, S.W., Lubarsky, E. and Rosauer, D.F. 2010. Biodiverse, a tool for the spatial analysis of biological and related diversity. *Ecography* 33(4): 643-647.
- Lavandero, N., Rosende, B., Pérez, M.F. 2020. *Leucheria cantillanensis* (Nassauvieae, Asteraceae), a new species endemic to central Chile. *PhytoKeys* 169: 99. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.169.57532>
- Lavandero, N., Chinga, J., Pinto, R., Pérez, M.F. 2021. A new distinctive species of *Schizanthus* (Solanaceae) and the reinstatement of *Schizanthus fallax*. *Systematic Botany* 46(2): 456-469.
- Locher-Krause, K.E., Volk, M., Waske, B., Thonfeld, F., Lautenbach, S. 2017. Expanding temporal resolution in landscape transformations: Insights from a Landsat-based case study in Southern Chile. *Ecological Indicators* 75: 132-144.
- Ludovicy, S., Noroozi, J., Semenchuk, P., Moser, D., Wessely, J., Talebi, A., Dullinger, S. 2022. Protected area network insufficiently represents climatic niches of endemic plants in a global biodiversity hotspot. *Biological Conservation* 275. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109768>
- Luebert, F., Becerra, P. 1998. Representatividad vegetacional del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en Chile. *Ciencia y Ambiente* 14(2): 62-69.
- Luebert, F., Pliscoff, P. 2018. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 2a Edición. Editorial Universitaria, Santiago. 384 pp.
- Mace, G.M., Reyers, B., Alkemade, R., Biggs, R., Chapin, F.S., Cornell, S.E., Díaz, S., Jennings S., Leadley, P., Mumby, P.J., Purvis A., Scholes, R.J., Seddon, A., Solan, M., Steffen, W., Woodward, G. 2014. Approaches to defining a planetary boundary for biodiversity. *Global Environmental Change*

- 28: 289-297.
- Manzour, M.I. 2024. Historia de la tramitación y contenidos de la ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas. Fundación Chile Sustentable, Santiago, Chile. 56 pp.
- Mardones, D., Scherson, R. 2023. Hotspots within a hotspot: evolutionary measures unveil interesting biogeographic patterns in threatened coastal forests in Chile. *Botanical Journal of the Linnean Society* 202: 433-448.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2023. Ley 21600. Crea El Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. <https://www.leychile.cl/leychile/navegar?idNorma=1195666&idParte=10455486>
- Ministerio del Medio Ambiente. s.f.a. inventario Nacional de Especies de Chile. <http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/Default.aspx>
- Ministerio del Medio Ambiente. s.f.b. Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad: Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, letra d) "El Roble".
- Miranda, F. 2010. Propuesta de un sendero de interpretación ambiental para el sitio Altos de Chicauma, Lampa, Región Metropolitana. Tesis de Pregrado, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Mishler, B.M. 2023. Spatial phylogenetics. *Journal of Biogeography* 50: 1454-1463.
- Molina-Venegas, R. 2021. Conserving evolutionarily distinct species is critical to safeguard human well-being. *Scientific Reports* 11(1): 24187. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03616-x>
- Muñoz, M., Nuñez, H., Yáñez, J. (Eds.) 1996. Libro rojo de los sitios prioritarios para la conservación de la diversidad biológica en Chile. CONAF, Santiago, Chile.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772): 853-858.
- Núñez I., González-Gaudiano E., Barahona A. 2003. La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. *Interciencia* 28(7): 387-393. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-1844200300070006&lng=es&tlang=es.
- Ormazábal, C. 1993. The conservation of biodiversity in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 383-402.
- Pliscoff, P., Fuentes-Castillo, T. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande* (48): 61-79.
- Robuchon, M., Silva, J.D., Dubois, G., Gumbs, R., Hoban, S., Laikre, L., Owen, N.R., Perino, A. 2023. Conserving species' evolutionary potential and history: Opportunities under the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. *Conservation Science and Practice* 5(6): e12929. <https://doi.org/10.1111/csp2.12929>
- Rodríguez, R., Marticorena, C., Alarcón, D., Baeza, C., Cavieres, L., Finot, V.L., Fuentes, N., Kiessling, A., Mihoc, M., Pauchard, A., Ruiz, E., Sanchez, P., Marticorena, A. 2018. Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana Botánica* 75(1): 1-430.
- Roig-Juñent, S., Deband, G. 2004. Prioridades de conservación aplicando información filogenética y endemidad: un ejemplo basado en Carabidae (Coleoptera) de América del Sur austral. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 695-709.
- Romero-Gárate F., Teillier, S. 2014. Flora vascular de los Altos del Cantillana, Región Metropolitana, Chile: pisos de vegetación subandino y andino. *Chloris Chilensis* 17: 1. <https://www.altosdecantillana.org/galeria/flora-vascular/>
- Scherson, R. 2018. Medidas basadas en filogenias como argumentos de selección de taxones y áreas para la conservación aplicadas a la flora nativa de Chile. En: Pérez-Quezada, J., Rodrigo, P. (Eds), *Metodologías Aplicadas para la Conservación de la Biodiversidad en Chile*: 161-183. Universidad de Chile, Santiago.
- Scherson, R.A., Thornhill, A.H., Urbina-Casanova, R., Freyman, W.A., Pliscoff, P.A., Mishler, B.D. 2017. Spatial phylogenetics of the vascular flora of Chile. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 112: 88-95.
- Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, A., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairotta, P. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7: 395-402.
- Simonetti-Grez, G., Simonetti, J., Espinoza, G. 2015. Conservando el patrimonio natural de Chile: el aporte de las áreas protegidas. pp. 9-15. Santiago, Chile.
- Teillier, S., Hoffmann, A.J., Saavedra, F., Pauchard, L. 1994. Flora del Parque Nacional El Morado (Región Metropolitana, Chile). *Gayana Botánica* 51: 13-47.
- Teillier, S. 2003. Flora del Monumento Natural El Morado: Addenda et corrigenda. *Gayana Botánica* 20(2): 94-100.
- Teillier, S., Aldunate, G., Riedermann, P., Niemeyer, H. 2005. Flora de Reserva Nacional Río Clarillo. Guía de identificación de especies. Impresos Sociales Ltda. 367 pp.
- Teillier, S., Macaya-Berti, J., García, N., Marticorena, A., Rojas, G., Niemeyer, H. 2022. Flora de la Región Metropolitana de Santiago. Guía para la identificación de las especies. Editorial Universidad de Chile, Chile.
- Tellería, J.L. 2013. Pérdida de biodiversidad. Causas y consecuencias de la desaparición de las especies. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 10: 13-25.
- The Catalogue of Life Partnership. 2017. APG IV: Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. Checklist dataset.

- Ubilla-Bravo, G., Villegas, R. 2017. Objetivos de los planes de desarrollo comunal (PLADECO) y ordenamiento territorial regional: servicios ecosistémicos y desarrollo de 38 nuevas centralidades para la Región Metropolitana de Santiago. *Revista Geográfica Venezolana* 58(1): 62-85.
- Valdovinos, C. (Ed.) 2009. Biodiversidad de Altos de Chicauma. Patrimonio del país. Fondo de Protección Ambiental de CONAMA, Chile.
- Vera, D. 2020. Patrones de distribución espacial y representatividad de la riqueza y diversidad filogenética de la flora vascular en la red de áreas silvestres protegidas y prioritarias de la zona mediterránea chilena. Tesis de Magíster, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 80 pp.
- Vilela, T., Malky Harb, A., Mendizábal Vergara, C. 2022. Chileans' willingness to pay for protected areas. *Ecological Economics* 201: 1-8.
- Villagrán, R., Armesto, J. 2005. Fitogeografía histórica de la cordillera de la Costa de Chile. Editorial Universitaria: 105-123.
- Williams, B.A., Grantham, H.S., Watson, J.E.M., Alvarez, S.J., Simmonds, J., Rogeliz, C., da Silva, M., Forero-Medina, G., Etter, A., Nogales, A. 2020. Minimising the loss of biodiversity and ecosystem services in an intact landscape under risk of rapid agricultural development. *Environmental Research Letters* 15(1): 014001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5ff7>
- Zamora-Abrego, J.G., Manríquez-Morán, N.L., Ortíz-Yusty, C.E., Ortega-León, A.M. 2013. Uso de técnicas moleculares como herramienta para conservar la diversidad biológica. En: López, H.A. (Ed.) Biología Molecular Aplicada a la Producción Animal y la Conservación de Especies Silvestres. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Received: 27.03.2025

Accepted: 04.09.2025