

UCH-FC
MAG-B
P.657
C.1

**Diversidad Filogenética de la Flora Arbórea
en el Hotspot de Biodiversidad de Chile**



Tesis
Entregada a la
Universidad de Chile
En Cumplimiento Parcial de los Requisitos
Para Optar al Grado de

Magíster en Ciencias Biológicas

Facultad de Ciencias

Por

Constanza Pinochet Cobos

Marzo, 2014

Director de Tesis Dra. Mary Kalin Arroyo

Co-Director de Tesis: Dra. Paola Jara Arancio

**FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE
INFORME DE APROBACIÓN
TESIS DE MAGÍSTER**

Se informa a la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias que la Tesis de Magíster presentada por la candidata

Constanza Pinochet Cobos

Ha sido aprobada por la comisión de Evaluación de la tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias Biológicas, en el examen de Defensa Privada de Tesis rendido el día 23 de enero de 2014.

Director de Tesis:

Dra. Mary Kalin Arroyo

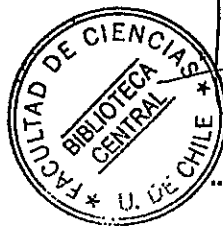
Co-Director de Tesis:

Dra. Paola Jara Arancio

Comisión de Evaluación de la Tesis:

Dr. Luis Felipe Hinojosa

Dr. Marco Méndez



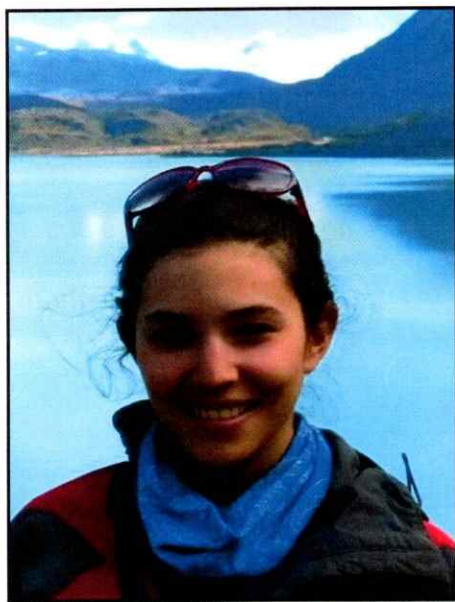
Mary Kalin Arroyo
.....
Paola Jara Arancio
.....
Luis Felipe Hinojosa
.....
Marco Méndez
.....

Quien no conoce el bosque chileno, no conoce este planeta.

De aquellas tierras, de aquel barro, de aquel silencio,

he salido yo a andar, a cantar por el mundo.

Pablo Neruda



Constanza Pinochet Cobos nació el 7 de enero de 1989 en Santiago, Chile. En el año 2007 inició sus estudios en Licenciatura en Ciencias con mención en Biología en la Universidad de Chile, motivada por su curiosidad por la naturaleza y las actividades al aire libre. Durante sus años de pregrado desarrolló interés por la ecología de las plantas y la conservación de la biodiversidad, además del aprendizaje de técnicas moleculares de filogenética. Posteriormente, ingresó al programa de Magíster en Ciencias Biológicas en la misma casa de estudios, durante el cual fue posible combinar sus disciplinas de interés en una tesis basada en la diversidad filogenética de los árboles nativos de Chile.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer en primer lugar a mis tutoras. A Mary Kalin por siempre tomar en serio mi trabajo e impulsarme a mejorar mis capacidades a través del ejemplo y de su aporte crítico. A Paola por guiarme día a día, desde el inicio hasta el final del proceso, con paciencia, empatía y mucha dedicación.

Gracias a mi familia y amigos cercanos por el apoyo incondicional. Agradezco en especial a mis papás Jaime y Mireya por su preocupación constante y a Andrés por estar a mi lado.

Agradezco en gran medida a la Dra. Rosita Scherson y el Dr. Patricio Pliscoff por acoger siempre mis dudas con dedicación y al Dr. Daniel Faith por demostrar interés en mi trabajo y gran disposición a compartir su tiempo y conocimiento.

También quiero reconocer la generosidad de las instituciones que permitieron la recolección de muestras, tales como el Parque Katalapi, CONAF, Jardín Botánico y Arboreto de la UACH, Jardín Botánico Nacional y Parque Metropolitano de Santiago. También agradezco especialmente al herbario de la Universidad de la Serena, el herbario del Museo Nacional de Historia Natural y al herbario de la Universidad de Concepción, junto a la Sección de Áreas Protegidas del Ministerio del Medio Ambiente.

Esta tesis fue posible gracias al apoyo de becas de magíster del Instituto de Ecología y Biodiversidad y CONICYT. Este trabajo fue financiado por el proyecto ICM P05-002 y PFB-23.

ÍNDICE DE MATERIAS

ÍNDICE DE MATERIAS	iv
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
<i>El Hotspot chileno de Biodiversidad y la Diversidad filogenética de su Flora Arbórea</i>	4
<i>Conservación en el Hotspot de Chile</i>	10
HIPÓTESIS	12
OBJETIVOS.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
RESULTADOS	30
<i>Base de datos y optimización</i>	31
<i>Relaciones filogenéticas</i>	35
<i>Riqueza y diversidad filogenética a nivel latitudinal</i>	39
<i>Riqueza y diversidad filogenética a nivel de cuadrantes</i>	42
<i>Análisis de las áreas protegidas</i>	47
DISCUSIÓN	55
CONCLUSIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición taxonómica de la flora arbórea del Hotspot de Chile continental.

Tabla 2. Superficie y porcentaje de las áreas protegidas en el Hotspot chileno y en Chile continental, según distintas categorías.

Tabla 3. Área protegida en el rango latitudinal de mayor DF (34°- 41°S) en el Hotspot según distintas categorías. Se muestra la superficie y el porcentaje en relación al total de área en el mismo rango.

Tabla 4. Área protegida de los cuadrantes con mayor DF de especies arbóreas en términos de superficie y de porcentaje en relación al área total de los cuadrantes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de la medición de la DF en un área x donde se encuentran presentes las especies A, C, D, I, K, en relación a un área mayor X que comprende las especies A-O. La DF del área x es la suma de los largos de ramas horizontales en rojo.

Figura 2. Representación gráfica de la distribución en el árbol filogenético de las especies de dos comunidades arbóreas. En rojo se resaltan las especies presentes y los largos de rama que contribuyen a la DF. A pesar de que ambas comunidades tienen la misma riqueza, la comunidad de la izquierda tiene mayor DF y podría considerarse hiperdispersa filogenéticamente, mientras que la comunidad de la derecha tiene menor DF y está hipodispersa filogenéticamente.

Figura 3. Área del Hotspot de biodiversidad "Chilean winter rainfall - Valdivian Forest", resaltada en color rojo en referencia al área total de Chile continental (amarillo) y Sudamérica (gris).

Figura 4. Metodología de optimización de la base de datos para la especie *Crinodendron patagua*. En a) se observan en rojo las ocurrencias de *C. patagua*, en b) se muestran en azul los pisos vegetacionales que se intersectan con las ocurrencias y en c) la extrapolación a cuadrantes de 0,5 x 0,5 grados de latitud por longitud del polígono formado por los pisos vegetacionales seleccionados.

Figura 5. Procedimiento que muestra la adición de ramas de especies no amplificadas en el árbol filogenético elaborado con un individuo por especie. En el ejemplo se muestran en rojo las dos especies del género *Lomatia* que se insertaron junto a su especie hermana, con un largo de rama mínimo.

Figura 6. Procedimiento que muestra cómo se simplificó el árbol para medir a nivel de géneros. a) Si el género tiene dos especies, como *Beilschmiedia*, la nueva rama representante del género equivale al promedio de los dos largos de ramas. b) Si el género tiene más de dos especies, como el género BCD hermano del género A, se calcula el promedio de largo de ramas de BC y luego se promedia con el largo de ramas de D.

Figura 7. Registros georreferenciados de 78 especies arbóreas nativas presentes en el Hotspot chileno, superpuestos sobre una grilla de 233 cuadrantes que cubre todo el Hotspot.

Figura 8. Grilla de 206 cuadrantes enumerados obtenida utilizando los datos de ocurrencias de las especies arbóreas optimizados, superpuesta en el área del Hotspot de Chile.

Figura 9. Riqueza de especies por cuadrante antes de optimizar la base de datos utilizando la metodología de análisis de GAP (izquierda) y luego de aplicarla (derecha).

Figura 10. Árbol filogenético de Inferencia Bayesiana con 144 individuos de 75 especies arbóreas nativas construido a partir del gen cloroplastidial *rbcL*. En los nodos se observan los valores de apoyo de probabilidad posterior y los valores de bootstrap del análisis de Parsimonia. En azul se señalan los principales órdenes y en rojo las grandes divisiones de las plantas vasculares según APG (Stevens 2001).

Figura 11. Árbol filogenético de Inferencia Bayesiana con 75 especies arbóreas nativas representadas por un individuo. En los nodos se observan los valores de apoyo de probabilidad posterior, los valores de bootstrap de Parsimonia y de Máxima Verosimilitud. La figura muestra los largos de rama. En azul se señalan los principales órdenes y en rojo, las grandes divisiones de las plantas vasculares según APG (Stevens 2001).

Figura 12. Simplificación a nivel de géneros del árbol filogenético con un individuo por especie (Fig. 10). Se muestran los 52 géneros considerados en el estudio, cuyo largo de ramas es proporcional a los resultados a nivel de especies. En azul se señalan los principales órdenes y en rojo las grandes divisiones de las plantas vasculares según APG (Stevens 2001).

Figura 13. Distribución del porcentaje de riqueza y DF en bandas de 0,5 grados de latitud, medido a nivel de géneros (a y c) y de especies (b y d).

Figura 14. Distribución de la DF relativa a la riqueza en bandas latitudinales de 0,5 grados de latitud a nivel de géneros y especies. Izquierda: Residuales positivos (rojos) y negativos (azules) de una regresión de Loess de DF según riqueza. Derecha: Distribución de DF_{est} calculado a partir de 10.000 repeticiones al azar. Se resaltan los cuadrantes con p significativo.

Figura 15. Distribución de la riqueza y DF a nivel de géneros (izquierda) y especies (derecha).

Figura 16. Cuadrantes de los últimos dos tramos de riqueza y DF a nivel de géneros (izquierda) y de especies (derecha). Se observa la línea de máxima extensión de los hielos en el UMG según Hollin and Schilling (1981). Los colores más fuertes indican que los cuadrantes pertenecen al último de los 20 tramos y los más pálidos al penúltimo.

Figura 17. Distribución de la DF relativa a la riqueza a nivel de géneros y especies. Izquierda: Residuales positivos (rojos) y negativos (azules) de una regresión de Loess de DF según riqueza. Derecha: Distribución de DF_{est} calculada a partir de 10.000 repeticiones al azar. Se resaltan los cuadrantes con $p < 0,05$.

Figura 18. Histograma de superficie protegida en hectáreas por cada banda de 0,5 grados de latitud a lo largo de Chile (18°-56°S). Las cruces negras señalan el porcentaje de superficie protegida respecto al total. Entre las líneas punteadas se encuentran las latitudes pertenecientes al Hotspot de Chile.

Figura 19. Izquierda: Relación entre el porcentaje de área protegida por banda (arriba) o cuadrante (abajo) y el porcentaje de DF de especies. Derecha: Relación entre el porcentaje de área protegida por banda (arriba) o cuadrante (abajo) y el porcentaje de riqueza de especies.

Figura 20. a) Izquierda: Porcentaje de superficie protegida en los cuadrantes de mayor DF. En rojo se resaltan las áreas protegidas dentro de los cuadrantes y en celeste las que están fuera de los cuadrantes. b) Derecha: Las mismas áreas protegidas que a la izquierda, separadas según seis categorías. ICP: Iniciativas de Conservación Privadas, BN: Bienes Nacionales Protegidos, MN: Monumentos Naturales, PN: Parques Nacionales, RN: Reservas Nacionales, SN: Santuarios de la Naturaleza, AP fuera: áreas protegidas fuera del área de los cuadrantes destacados, ICP/otras: áreas consideradas dentro de ICP y otras categorías debido a superposición de la cartografía.

Figura 21. Porcentaje por cuadrante del área de bosque remanente disponible para nuevas iniciativas de conservación. Se muestra en rojo el suelo según uso intensivo (urbanas, industriales, agrícolas, mineras y plantaciones forestales), en verde las categorías de bosque (nativo, mixto, renovales) y en azul el resto de las categorías que incluyen praderas, humedales, áreas sin vegetación, cuerpos de agua y nieves. Se destaca el cuadrante 128, donde se observa el grado de fragmentación de los bosques remanentes (8,6% de bosque disponible para la conservación).

LISTA DE ABREVIATURAS

DF:	Diversidad filogenética
DF_{est}:	Diversidad filogenética estandarizada
Hotspot chileno:	Hotspot de Biodiversidad Chilean winter rainfall – Valdivian Forest
ICP:	Iniciativas de Conservación Privadas
ITS	Espaciador interno transcrito
nrDNA	DNA nuclear ribosomal
PCR:	Reacción en cadena de la polimerasa
rbcl	Subunidad grande de la enzima RuBisCO
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
SNASPE:	Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado
UMG:	Último Máximo Glacial

RESUMEN

La diversidad filogenética (DF) es una medida de diversidad que incorpora las relaciones filogenéticas de los taxa y otorga un mayor “valor de opción” a un conjunto de linajes frente a posibles cambios ambientales, por lo que sería un buen indicador para la selección de áreas prioritarias para conservar. La flora arbórea es un grupo relevante puesto cumple un rol importante en la regulación de los procesos naturales y mantención de servicios ecosistémicos. El objetivo de este estudio es evaluar el patrón de DF y riqueza de la flora arbórea en el Hotspot de Chile a diferentes escalas espaciales y estudiar sus implicancias para la conservación de la biodiversidad. Es posible que la DF se concentre en la Cordillera de la Costa en Chile central-sur, debido a la existencia de refugios glaciales. Se hizo una reconstrucción filogenética de 78 especies de árboles chilenos según el método de Inferencia Bayesiana a partir del marcador cloroplastidial *rbcl*, que fue utilizada para medir DF y riqueza de especies y géneros en bandas de 0,5 grados de latitud y cuadrantes de 0,5 grados de latitud por 0,5 grados de longitud. Se identificaron zonas de mayor o menor DF relativa a la riqueza y se comparó la distribución de las áreas protegidas existentes con el patrón de DF. Los resultados indican que la DF y la riqueza se concentran entre los 34° a 41°S principalmente en la Cordillera de la Costa, pero también en el Valle Central y parte de la Cordillera de los Andes. En términos relativos a la riqueza de especies, el sector norte del Hotspot tiene alta DF y el sur baja DF. La riqueza se puede considerar un buen indicador de la DF para el caso de la flora arbórea nativa, pero este resultado no necesariamente se puede extrapolar a otros grupos de plantas. Por último, hay un bajo nivel de protección entre los 34° y 41°S, especialmente en los 19 cuadrantes de mayor DF, por lo que urgen esfuerzos de conservación en esta área del país.

ABSTRACT

Phylogenetic diversity (PD) is a diversity measure that incorporates the phylogenetic relationships of taxa and maximizes the "option value" of a subset of lineages in relation to environmental change. Thus PD should be a good indicator for detection of priority areas for conservation. Native trees are relevant in regulating natural process and maintaining ecosystem services. The aim of this study is to evaluate tree species PD and richness patterns in the Biodiversity Hotspot of Chile at different scales and study the implications for conservation. The PD of the tree species and genera occurring in the Chilean Hotspot is likely to be concentrated in the Coastal Ranges in south-central Chile, due the existence of glacial refugia. PD and richness were measured for 0,5 degree latitudinal bands and on a 0,5 x 0,5 degrees grid, using a phylogenetic reconstruction with Bayesian Inference for 78 tree species, using the chloroplastial molecular gene *rbcL*. Areas with more or less PD relative to species richness were identified and the distribution of extant protected areas was compared with the PD pattern and priority areas for conservation detected. The results show that PD and richness are concentrated between 34° to 41°S mainly in the Coastal Range, but can also be high in the Central Valley and some part of the Andes. The north of the Hotspot tends to be phylogenetically hyperdispersed in relation to species richness and the south hypodispersed. Nevertheless, richness can be considered a good surrogate of PD for the native trees species, but this result cannot be extrapolated to other groups of plants. Levels of protection are low between 34° to 41°S and especially in the grid squares with highest PD. Future conservation efforts in this area of Chile are urgent.

INTRODUCCIÓN

En la conservación de la biodiversidad, los dos indicadores empleados con más frecuencia son la riqueza de especies y la proporción de especies endémicas a un área o hábitat (Kerr 1997; Brooks et al. 2006; Myers et al. 2000). Medir la diversidad biológica en términos de la cantidad de especies y endemismos permite comparar fácilmente la biodiversidad entre distintas áreas, pero es fuertemente dependiente de los criterios que usa cada taxónomo para diferenciar las especies (Hey 2001). Además todas las especies reciben igual peso. Cerca de la década de los noventa, en la Biología de la Conservación surge la interrogante sobre si es adecuado considerar a todas las especies de un área geográfica como unidades equivalentes, como sucede al usar la métrica de riqueza de especies, o bien, considerar además la historia o el peso evolutivo de los taxa (May 1990). A modo de ejemplo, ¿es correcto asignar el mismo valor a las dos especies de tuataras, únicas representantes del orden Sphenodontia, que a cualquier otra especie de reptil cuando se trata de los esfuerzos de conservación?

Una manera de considerar el peso evolutivo de las distintas especies es a través de la incorporación de sus relaciones filogenéticas. Uno de los indicadores, usado frecuentemente, que incorpora las relaciones filogenéticas es la diversidad filogenética (DF). Faith (1992a) definió la DF como la suma de las longitudes de las ramas que trazan el camino mínimo de extensión de un subconjunto de taxa, incluyendo la raíz del árbol que incorpora a todos los taxa. Un ejemplo se muestra en la Figura 1, donde se observa

gráficamente la DF para un conjunto de especies. Según esta definición, la DF mide la ruta evolutiva que conecta la biodiversidad o largo de las ramas de una filogenia y da cuenta de su historia evolutiva (Scherson et al. 2012). Basándose en la teoría cladista, una manera de inferir y cuantificar las diferencias entre distintas especies a nivel de sus rasgos, es a través de sus relaciones filogenéticas (Faith 1992b y 1994), entendiendo que dos especies tendrán rasgos más similares en la medida de que estén más emparentadas evolutivamente. Bajo tal premisa la DF representa la diversidad de rasgos de un conjunto de especies y al maximizar esta medida, es decir seleccionando las áreas de mayor DF, se otorgaría un mayor “valor de opción” a un grupo de linajes frente a los cambios ambientales debido a que poseen en conjunto una mayor diversidad de rasgos (Barker 2002). Una alta DF se ha interpretado como un mayor potencial evolutivo en el conjunto de linajes de un área geográfica o comunidad (Forest et al. 2007) o también como mayores posibilidades en el futuro de obtener beneficios para el ser humano a partir de la biodiversidad frente a un futuro incierto de cambios (Faith & Richards 2012; Larsen et al. 2012).

Debido a que para la conservación es importante mantener el valor de opción de las comunidades frente a posibles cambios y la mantención del potencial evolutivo, se ha propuesto que la DF debe priorizarse como indicador en la elección de áreas de conservación por sobre la riqueza de especies (Forest et al. 2007; Huang et al. 2012; Faith 1992a). En las últimas décadas se ha hecho evidente que el efecto antrópico ha causado graves alteraciones en los ecosistemas naturales, lo cual se manifiesta principalmente en la pérdida de biodiversidad reflejada en las altas tasas de extinción de las especies (Dirzo & Raven 2003; Barnosky et al. 2011; Millenium Ecosystem Assessment 2005), siendo los factores más relevantes el calentamiento global, pérdida y fragmentación del hábitat,

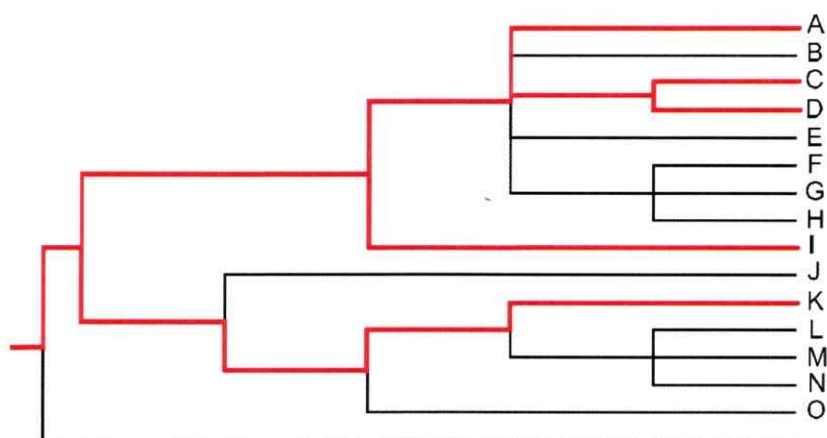


Figura 1. Representación gráfica de la medición de la DF en un área x donde se encuentran presentes las especies A, C, D, I, K, en relación a un área mayor X que comprende las especies A-O. La DF del área x es la suma de los largos de ramas horizontales en rojo.

contaminación de los ecosistemas naturales y esparcimiento de especies invasoras (Fahrig 1997; Brook et al. 2008). Si bien hay una necesidad imperiosa de conservar la biodiversidad que queda, la disponibilidad de tierra para emprender acciones de conservación es cada día más limitada por lo que se requieren decisiones científicamente avaladas para maximizar el impacto de las acciones, por ejemplo el uso de indicadores como la DF. Sin embargo aún no son muchos los estudios que han medido la DF. Medir la DF a una escala relevante para la conservación significa un esfuerzo mucho mayor que obtener información sobre la riqueza de especies, ya que es necesario contar con una filogenia de todas las especies del área. La mayoría de los estudios hasta la fecha muestran que las dos variables están correlacionadas (Rodrigues & Gaston 2002; Pérez-Losada & Crandall 2003; Forest et al. 2007; Davies & Buckley 2011) pero otros estudios señalan que no siempre están correlacionadas (Scherson et al. 2012) o que las zonas de máxima DF no

coinciden del todo con las de máxima riqueza (Potter 2012). Además, se puede medir el grado de dispersión filogenética de las especies de un lugar determinado en relación a la riqueza de especies (Forest et al. 2007; Davies et al. 2008). Áreas donde las especies se concentran solo en algunas ramas del árbol se encontrarían hipodispersas filogenéticamente, mientras que áreas donde las especies se reparten equitativamente pueden estar hiperdispersas filogenéticamente en relación a la riqueza de especies (Figura 2).

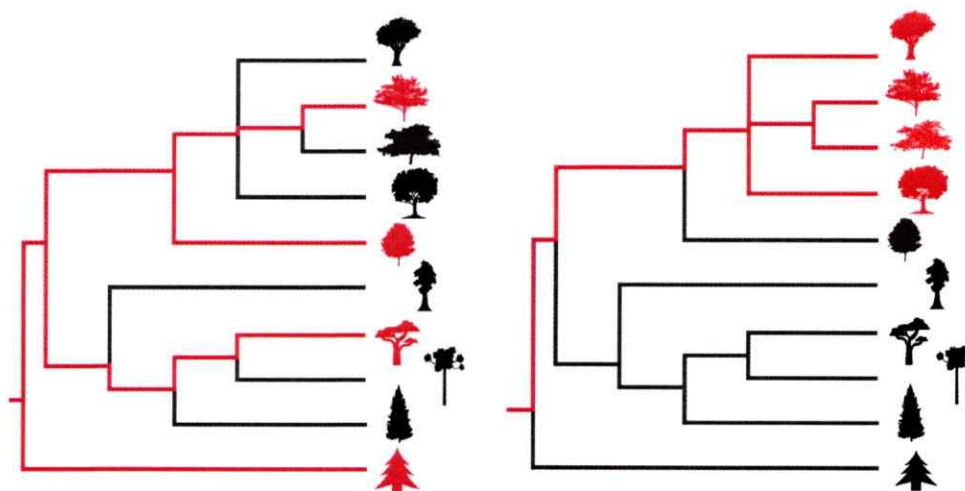


Figura 2. Representación gráfica de la distribución en el árbol filogenético de las especies de dos comunidades arbóreas. En rojo se resaltan las especies presentes y los largos de rama que contribuyen a la DF. A pesar de que ambas comunidades tienen la misma riqueza, la comunidad de la izquierda tiene mayor DF y podría considerarse hiperdispersa filogenéticamente, mientras que la comunidad de la derecha tiene menor DF y estaría hipodispersa filogenéticamente.

El Hotspot chileno de Biodiversidad y la Diversidad filogenética de su Flora Arbórea

En esta tesis fue estudiada la DF de la flora arbórea nativa en el “Chilean winter rainfall-Valdivian Forest Hotspot” (Fig. 3) que de ahora en adelante por simplicidad será llamado el Hotspot chileno. El objetivo principal consiste en estudiar dónde está concentrada la DF, la relación entre la DF y la riqueza de especies y géneros y si la ubicación de las áreas protegidas guarda relación con las áreas de mayor DF.

Actualmente se reconocen 34 Hotspots de Biodiversidad (Myers et al. 2000; Mittermeier et al. 2004) (Fig. 3). Sin embargo, hasta la fecha, solamente un estudio ha considerado la DF en un Hotspot de Biodiversidad a una escala relevante para la conservación (el Hotspot del Cabo de Sudáfrica - Forest et al. 2007). El conocimiento de la distribución del DF en los Hotspots de Biodiversidad es muy importante ya que son áreas geográficas que concentran muchas especies endémicas (al menos 0,5% del total mundial de plantas vasculares) y las posibilidades de implementar acciones de conservación son limitadas dado que gran parte de su vegetación primaria no es prístina (Myers et al. 2000).

Patrones de DF esperados en la flora arbórea del Hotspot

El carácter mixto y relictual de la flora arbórea de Chile y su historia biogeográfica del periodo Cuaternario serían factores relevantes en cuanto a los patrones de DF esperados en la flora arbórea de Chile en general y en el Hotspot chileno. A continuación se profundizará en estos dos aspectos.

La DF de un área geográfica es el producto de la acumulación de linajes evolutivos que logran *colonizar* y *permanecer* en un área a lo largo de su historia biogeográfica, la edad y

distancia filogenética entre los linajes y el nivel de *radiación evolutiva* que experimenta cada uno (c.f. Davies & Buckley 2011), que es el aumento de la diversidad taxonómica en un área en un tiempo determinado. El número y diversidad de linajes evolutivos que logran instalarse en un área geográfica depende de la disponibilidad de fuentes, además de la existencia de adaptaciones previas en dichos linajes (Arakaki et al. 2011; Jara-Arancio et al. 2013) y el grado de conservatismo filogenético de los linajes en dichas fuentes, que es la tendencia de las especies a colonizar el mismo tipo de bioma habitado por su ancestro y por especies relacionadas filogenéticamente (Crisp et al. 2009).

Con respecto a fuentes disponibles, en general, áreas geográficas muy aisladas como las islas oceánicas típicamente tendrían menor disponibilidad de linajes que áreas continentales, y especialmente en comparación a las áreas continentales que estuvieron conectadas a otros continentes en el pasado. Estudios biogeográficos sugieren que el número de géneros en la flora arbórea de Chile es bastante alto en comparación con los bosques templados del hemisferio de Norte (Arroyo et al. 1996). Se ha visto además que las familias de plantas más antiguas tienden a concentrarse en el sur del continente (Segovia et al. 2013).

La distribución geográfica actual de los taxa presentes en la flora de bosques de Chile revela antiguas conexiones del sur de Sudamérica con otros continentes, que significaron la acumulación de diversos linajes que llegaron en sucesivas oleadas neotropicales, australasianas-cálidas y austral-antárticas durante el Terciario inferior, para conformar los actuales bosques compuestos por una mezcla de los taxa sobrevivientes de los bosques paleógenos y elementos que se diferenciaron o migraron durante el Neógeno (Schmithüsen 1956; Villagrán & Hinojosa 1997). Según la distribución geográfica a nivel de géneros se han definido cinco elementos fitogeográficos (Villagrán & Hinojosa 1997):

1) Elemento Australasiano Austral-antártico: se origina durante el Cretácico superior y Paleoceno en la región de Antártica que permanecía unida a Sudamérica y Australia, donde se desarrollaba una paleoflora mixta con presencia de taxa de origen tropical y antártico (Hinojosa & Villagrán 1997). El elemento Australasiano-Austral-antártico está compuesto por un grupo de géneros cálidos que se encuentran en las regiones tropicales de Australasia, Indonesia, Malasia y SE de Asia y por un conjunto de géneros templados de origen austral-antártico disyuntos en los bosques de Nueva Zelanda, Tasmania, Nueva Caledonia, sureste de Australia y Nueva Guinea-Papúa. Los géneros arbóreos de este elemento están concentrados en el sur de Chile y Chile central (Segovia et al. 2013). Entre las 32 familias con representantes arbóreos hay cinco representadas solamente en este elemento (Araliaceae, Araucariaceae, Cardiopteridaceae, Eucryphiaceae, Nothofagaceae, ver Anexo 1); **2) Elemento Endémico:** se compone por géneros endémicos a Chile y géneros endémicos a los bosques subantárticos de Chile y Argentina. El registro de géneros endémicos se presenta principalmente en el Terciario superior (Eoceno superior a Mioceno), probablemente a partir de floras paleógenas (Villagrán & Hinojosa 1997). Algunos de estos géneros guardan relación con la flora Gondwánica. Por ejemplo, recientemente se encontró una segunda especie de *Fitzroya* (fósil) en Tasmania (Paull & Hill 2010). Otros tendrían relación con la flora neotropical. Tal como el elemento Australasiano Austral-antártico, los géneros arbóreos de este elemento están concentrados en el sur de Chile y en Chile central, aunque ligeramente más al sur que el anterior (Segovia et al. 2013). Entre las familias con representantes arbóreos, ocho son representadas solamente en este elemento (Aextoxicaceae, Arecaceae, Cupressaceae, Gomortegaceae, Malvaceae, Rhamnaceae, Rutaceae, Solanaceae); **3) Elemento Neotropical:** se origina a partir de una paleoflora tropical de origen Gondwánico que se

extendió en toda la región de Sudamérica. Este elemento está compuesto en gran medida por géneros disyuntos en los bosques del sureste de Brasil, noroeste de Argentina y sur de Bolivia. Entre las familias con representantes arbóreos, ocho están representadas solamente en este elemento (Anacardiaceae, Cactaceae, Escalloniaceae, Quillajaceae, Rosaceae, Verbenaceae, Winteraceae, Zygophyllaceae). Además de los elementos nombrados, existe el **4) Elemento Pantropical** que se distribuye en todas las regiones tropicales del globo y **5) Elemento Amplio** que tiene una distribución templada-amplia a subcosmopolita. Se ha encontrado que los representantes arbóreos de los dos elementos tropicales se distribuyen más al norte que los primeros dos elementos mencionados (Segovia et al. 2013). Teniendo en cuenta que cada elemento biogeográfico aporta algunas familias exclusivas a la flora arbórea, es probable que la DF sea mayor en la zona de mayor sobreposición de dichos elementos, es decir en Chile central-sur, en la transición de los climas mediterráneo y templado (Villagrán & Hinojosa 1997).

Las radiaciones evolutivas tienden a disminuir la DF, al producir entidades que son estrechamente emparentadas. Por otra parte, la posibilidad de radiaciones evolutivas nuevas en un área depende del número de linajes ya existentes en dicha área. Por ejemplo, se han producido radiaciones evolutivas extensas y muy rápidas en islas poco habitadas (Gardner 1976; Humphries 1976; Helenurm & Ganders 1985) y en zonas alpinas abiertas o de condiciones de hiper aridez (Klak et al. 2004; Guerrero et al. 2013). Por el contrario, las radiaciones evolutivas suelen ser menores en áreas geográficas caracterizadas por muchos linajes relictuales (Vargas 2007). Varios autores han señalado que la flora vascular de los bosques del sur de Sudamérica tiene un carácter relictual (Arroyo et al. 1996; Villagrán & Hinojosa 1997) producto de un largo aislamiento geográfico, lo cual se ve reflejado en la pobreza de especies en comparación a la amplia representación de los

géneros y familias, varios géneros monotípicos o con bajo número de taxa, además de la alta proporción de especies endémicas. En la flora arbórea continental (N = 103 especies) hay 36 familias y 63 géneros, de los cuales 16 de los géneros son monotípicos (Zuloaga et al. 2008). Del mismo modo, destaca el grado de endemismo, ya que hay 48 especies endémicas a Chile (46,6%) sumado a 33 especies endémicas a los bosques del sur de Chile y Argentina (32%) (Donoso 2006), dando un total de 78,6% de endemismo a nivel del sur de Sudamérica. Además destacan dos familias endémicas y monogénicas de los bosques del sur de Sudamérica: Aextoxicaceae y Gomortegaceae. La ausencia de grandes radiaciones de especies en los géneros que componen el bosque chileno sugiere que las zonas con mayor riqueza de especies arbóreas no presentarían hipodispersión filogenética en relación a su riqueza, como ocurre en la zona Oeste del hotspot de biodiversidad del Cabo de Sudafrica (Forest et al. 2007).

Si bien se espera un alto nivel de DF en general para la flora arbórea en términos absolutos debido a la acumulación de linajes en el tiempo y la ausencia de grandes radiaciones evolutivas, algunos sectores del Hotspot tendrían más DF que otros debido a la historia biogeográfica de los bosques durante el período Cuaternario. De acuerdo con los sucesivos ciclos glacial-interglacial, Villagrán (1991; 1995) propone distintas zonas como posibles refugios que permitieron la permanencia de la flora del bosque templado durante el avance de los hielos en la última glaciación, que habrían presentado condiciones climáticas más estables. Estas zonas de refugio son resumidas por Villagrán y Armesto (2005) como: 1) la Depresión Intermedia de Chile centro-sur, en la región de Los Lagos y norte de la isla de Chiloé (35°-42°S) que habría albergado al elemento más resistente al frío, como tundras y bosques subantárticos; 2) la Costa de la región de Los Lagos (40°- 42°S), como refugio del bosque nordpatagónico; 3) los escalones altitudinales

medios y bajos de la Cordillera de la Costa (por ej. La Cordillera de Nahuelbuta), al norte de la región de Los Lagos (36°-40°S), donde se habría refugiado el elemento más cálido del Bosque Valdiviano, y 4) el litoral y los faldeos costeros de Chile central (30°-35°S), donde se habría distribuido un bosque continuo de olivillo. Reflejando la posición de los refugios glaciales en la Cordillera de la Costa, se encontró que el máximo de riqueza de las especies arbóreas se ubica entre los 36° y 40°S, entre los ríos Maule y Valdivia. (Villagrán 1995; Villagrán & Hinojosa 1997). Teniendo en cuenta que no hay grandes radiaciones evolutivas en la flora arbórea y que el elemento endémico, austral y tropical se concentran en estas latitudes (Segovia et al. 2013), es probable que la DF en la flora arbórea del Hotspot chileno se maximice en la Cordillera de la Costa a estas mismas latitudes y más específicamente en zonas correspondientes a refugios glaciales. En particular, se espera poca DF por debajo de la línea de máxima extensión de los hielos en el UMG (Hollin & Schilling 1981) y descensos de la DF hacia el sur y norte de la zona de máxima DF.

Conservación en el Hotspot de Chile

La detección de áreas de alta DF a una pequeña escala dentro del Hotspot chileno permitiría evaluar las fortalezas y debilidades del actual sistema de áreas protegidas y destacar áreas prioritarias para futuras iniciativas de conservación y restauración. Esta tarea es urgente debido a las fuertes amenazas a la que está expuesta la biodiversidad del Hotspot chileno como la degradación del hábitat original debido a la expansión de las plantaciones forestales en Chile central, urbanización, incendios forestales, sobrepastoreo, dispersión de especies exóticas y comercialización de especies nativas (Armesto et al. 1998).

Los esfuerzos de conservación en el Hotspot de Chile se concentran principalmente en las áreas protegidas reconocidas por el Estado, que pertenecen al SNASPE, Bienes Nacionales Protegidos y Santuarios de la Naturaleza, complementado por un creciente aporte de los privados (Pliscoff & Fuentes 2011). Del total del área del Hotspot, un 12,8% se encuentra en alguna categoría de protección (Arroyo et al. 2004), mientras que a nivel de Chile continental e insular este valor alcanza aproximadamente el 20% (Sierralta et al. 2011). A pesar de que el territorio protegido a nivel de país alcanza un alto porcentaje, las áreas protegidas del SNASPE no se encuentran bien distribuidas, ya que hay un sesgo de protección hacia las zonas australes de Chile (Armesto et al. 1992; Luebert & Becerra 1998) y los sectores andinos en la zona norte y centro-sur (Armesto et al. 1998; Pliscoff 2002; Pliscoff & Fuentes 2011). Junto a lo anterior, hay una subrepresentación de las áreas de mayor diversidad de la flora del bosque templado, en la costa entre la VI y la IX región (Armesto et al. 1992) y además hay notables vacíos de representatividad a nivel de los pisos vegetacionales, especialmente en la zona norte y centro de Chile (Luebert & Pliscoff 2006; Pliscoff & Fuentes 2011). Estos antecedentes sugieren que es poco probable que las actuales áreas protegidas reflejen la distribución de la DF de la flora arbórea.

Considerando la concentración de los principales elementos fitogeográficos en Chile Central-sur, la ubicación de refugios glaciales en la cordillera de la Costa y la distribución de la riqueza de especies arbóreas entre los 36° a los 40°S, se postula la siguiente hipótesis:

HIPÓTESIS

La diversidad filogenética (DF) de la flora arbórea del Hotspot de Chile se maximiza en Chile central-sur, entre los 36° y 40° de latitud, especialmente en la Cordillera de la Costa.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los patrones de diversidad filogenética (DF) y riqueza de la flora arbórea nativa a nivel de géneros y especies en el Hotspot "Chilean winter Rainfall-Valdivian Forest" a diferentes escalas espaciales y sus implicancias para la conservación de la biodiversidad.

Objetivos específicos

- Determinar la DF en la flora arbórea en el Hotspot de Chile a la escala de medio grado de latitud y para una grilla de 0,5 grados de latitud por 0,5 grados de longitud.
- Comparar el patrón de DF de la flora arbórea del Hotspot con los patrones de riqueza a nivel de especies y géneros a distintas escalas espaciales.
- Comparar la distribución de las áreas protegidas existentes y la DF y detectar áreas prioritarias de conservación de acuerdo con su contenido de DF.

MATERIALES Y MÉTODOS



Área de estudio y elección de especies

El área de estudio contempla toda la distribución a nivel continental del Hotspot de biodiversidad denominado "Chilean winter rainfall-Valdivian Forest" (Arroyo et al. 2004), que incluye el área del Hotspot de Chile central desde los 25° a los 40°S (Arroyo et al. 1999; Myers et al. 2000) y una extensión hacia el sur y al este de este territorio, que abarca los bosques templados de la Ecorregión Valdiviana (Olson et al. 2001) además del archipiélago de Juan Fernández, que no fue incluido en este estudio (Fig. 3). El área se extiende desde la costa del Océano Pacífico hasta las cimas de la Cordillera de los Andes entre los 25° y los 47°S, incluyendo una estrecha franja costera desde los 19°S hasta los 25°S (Fig. 3) en un total de 397.502 km² (Arroyo et al. 2004). En el Hotspot las precipitaciones aumentan conforme a la latitud y a partir de los 38°S, en la zona transicional entre las regiones con clima mediterráneo y templado, se reciben en invierno y verano. Toda esta área considera una gran variedad de ecosistemas, ya que abarca de norte a sur los desiertos de lluvia de invierno del Norte Chico, el bosque y matorral esclerófilo del área mediterránea en la zona central, los bosques deciduos dominados por especies de *Nothofagus*, los bosques lluviosos tipo Valdiviano y Nordpatagónico y la flora altoandina (Arroyo et al. 2006). En total, este Hotspot contiene 3.892 especies de plantas vasculares, de las cuales 1.957 son endémicas al Hotspot (50,3%) (Arroyo et al. 2004).

Se trabajó con las especies arbóreas según la definición de Rodríguez y colaboradores (1983) descartando las especies arborescentes, que define que un árbol en su estado adulto posee un tronco erecto no ramificado cerca de la base, con un diámetro a la altura del pecho superior a los 10 centímetros y una altura mínima de tres metros. Según esta definición, en el área de estudio hay 78 especies arbóreas, pertenecientes a 52 géneros y 29 familias (Zuloaga et al. 2008). Se trabajó a nivel de especies, sin considerar subespecies ni variedades dentro de estas. De las 78 especies consideradas, ocho son gimnospermas y 70 son angiospermas. La lista de árboles estudiados se encuentra en el Anexo 2.

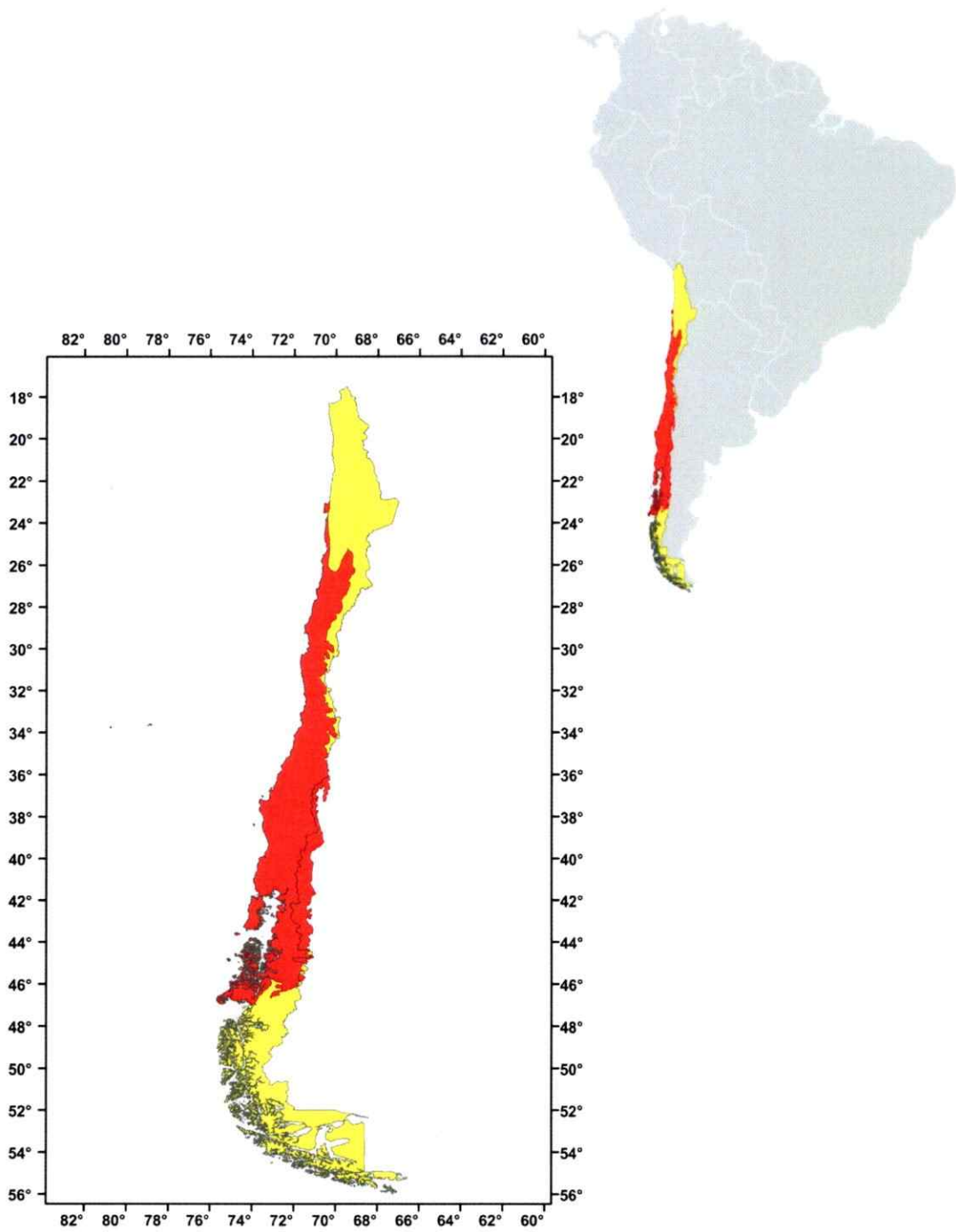


Figura 3. Área del Hotspot de biodiversidad "Chilean winter rainfall - Valdivian Forest", resaltada en color rojo en referencia al área total de Chile continental (amarillo) y Sudamérica (gris).

Base de datos

Se elaboró una base de datos de ocurrencias georreferenciadas de las 78 especies a partir de los datos proporcionados por:

- Herbario de la Universidad de Concepción (CONC) (8.427 registros).
- Herbario de la Universidad de La Serena (ULS) (277 registros).
- Base de datos virtual de Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (2.304 registros).
- Datos de ocurrencias de la tesis de Magíster de Patricio Pliscoff (2002) comprendidos entre los 32° y 38°S (sin considerar los de CONC) (2.355 registros).
- Herbario del Museo Nacional de Historia Natural (SGO), sin los registros comprendidos entre los 32° y los 38°S, ya considerados en Pliscoff (2002) (212 registros).
- Libro Flora Arbórea de Chile (Rodríguez et al. 1983), sin los registros de CONC, SGO ni aquellos comprendidos entre los 32° y los 38°S (107 registros).

Se excluyeron algunas ocurrencias que se repetían en las distintas fuentes. Es posible que aún existan ocurrencias repetidas, pero debido a que en este estudio se trabajó con presencia de especies y no con abundancia de estas, los resultados no se verán influenciados. No fue posible calcular el número de registros únicos, ya que no se contaba en todos los casos con el número de colecta.

Optimización de la base de datos

Para la optimización de la base de datos se determinó la distribución potencial de cada especie utilizando SIG y la metodología de Pliscoff (2002) que se basa en una modificación del método llamado "Análisis de Gap" (Scott et al. 1993; Scott & Csuti 1997), que consiste en la detección zonas que no estén cubiertas por un sistema de áreas protegidas en una región determinada mediante la superposición de distintas capas de información, tales como los tipos vegetacionales, la distribución y límites de las reservas, los usos del suelo y la distribución de las especies. En este trabajo, para obtener la distribución potencial de cada una de las especies arbóreas, se superpusieron todas las ocurrencias georreferenciadas disponibles para cada especie con los pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff (2008) (Fig. 4a, Anexo 3) de modo de obtener el polígono de distribución potencial, que es el conjunto de todos los pisos vegetacionales que se intersectan con los puntos de ocurrencias (Fig. 4b). Posteriormente se extrapolaron la distribución de la especie a cuadrantes de 0,5 x 0,5 grados de latitud por longitud, en una grilla alineada a los 47° de latitud al límite de la distribución oeste (75,694° de longitud). Se excluyeron aquellos cuadrantes que originalmente fueran cubiertos por menos de un 5% de su superficie. Para extrapolar la distribución de una especie, se incluyeron solo aquellos cuadrantes que tenían al menos 50% de área cubierta por el polígono de distribución potencial (Fig. 4c). Para el caso de cuadrantes ubicados en los límites de la distribución del área de estudio que originalmente estaban cubiertos solo parcialmente por la superficie del Hotspot de Chile, se incluyeron solamente aquellos en que el polígono de distribución potencial de la especie cubriera al menos el 50% de su superficie original.

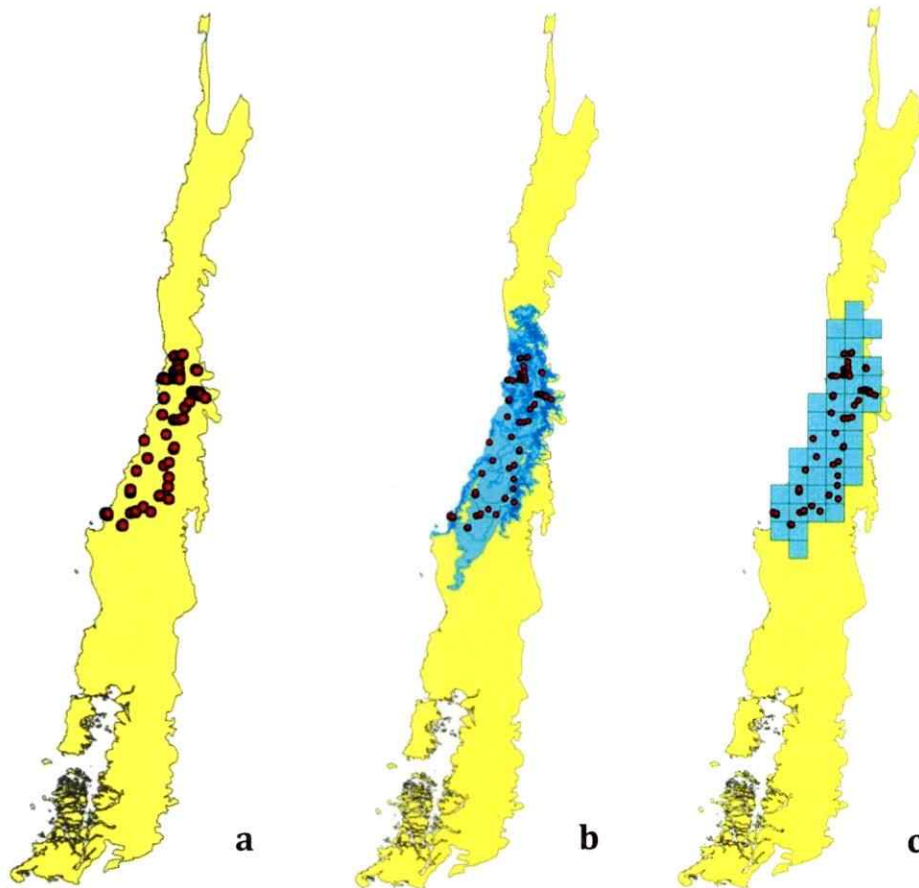


Figura 4. Metodología de optimización de la base de datos para la especie *Crinodendron patagua*. En a) se observan en rojo las ocurrencias de *C. patagua*, en b) se muestran en azul los pisos vegetacionales que se intersectan con las ocurrencias y en c) la extrapolación a cuadrantes de 0,5 x 0,5 grados de latitud por longitud del polígono formado por los pisos vegetacionales seleccionados.

Reconstrucción filogenética

Para la medición de la DF, se hizo una reconstrucción filogenética de las 78 especies y 52 géneros arbóreos en base al marcador molecular plastidial *rbcl*. Todos los géneros fueron representados al menos por una especie y se utilizó en la mayoría dos individuos de cada especie. Se usó como grupo externo la especie *Ginkgo biloba*, única representante del orden Ginkgoales, que ha sido ubicado en una posición basal dentro del clado de las plantas con semillas (Stevens 2001). Se trabajó con un total de 121 secuencias obtenidas a partir de extracciones nuevas efectuadas en el laboratorio y 24 a partir de la base de datos de Genbank (Anexo 4: Tablas 1, 2 y 3).

a) Obtención de secuencias nucleotídicas

Para la obtención de las nuevas secuencias nucleotídicas, se recolectó material foliar que fue conservado en sílica gel, tanto de zonas silvestres del país como de jardines botánicos y arboretos (Anexo 4: Tabla 1). Muestras herborizadas de cada individuo fueron depositadas a CONC. Además, se usó material herborizado de cuatro especies facilitado por CONC (Anexo 4: Tabla 2). La extracción del DNA se realizó según el protocolo establecido por DNeasy Plant Mini Kit de Qiagen (Jan Ben 2006). El cDNA se amplificó mediante la técnica de PCR, utilizando el marcador molecular plastidial *rbcl*, con los partidores establecidos por Olmstead y colaboradores (1992). La secuencia nucleotídica del partidor en dirección 5'-3' es ATG TCA CCA CAA ACA GAA ACT AAA GCA y del partidor en dirección 3'-5' es TCC TTT TAG TAA AAG ATT GGG CCG AG (Olmstead et al. 1992, modificado para este estudio).

La PCR se llevó a cabo en un volumen final de 30 μ L, considerando 15 μ L de la solución de Master Mix, 1,8 μ L de 10 μ M de ambos partidores, 1,5 μ L de albúmina de suero bovino (BSA) 10 g/L y 2,5 μ L de MgCl₂ 25 mmol/L. El programa del termociclador comenzó con dos minutos de denaturación inicial a 94°C, seguido por 32 ciclos de un minuto de denaturación a 94°C, un minuto de alineamiento, 1,5 minutos de extensión a 72°C y tres minutos de extensión final a 72°C. Las temperaturas de alineamiento variaron entre 48°C y 56°C según las muestras.

Los productos de la PCR se analizaron mediante electroforesis horizontal en geles de agarosa al 1% y teñidos con GelRed (5 μ L/50ml) en buffer TAE al 1X. La electroforesis se efectuó a 110 volts durante 40 minutos aproximadamente y se visualizaron las muestras en un transiluminador UV (Electronic). Las muestras que presentaban más de una banda de DNA en el gel de agarosa, fueron purificadas con el kit Wizard SV Gel and PCR Clean-Up System. Los productos de la PCR fueron enviados a secuenciar por ambos lados a MacroGen (Corea) y los cromatogramas fueron editados con el programa Proseq v2.91 (Filatov 2002). Con el propósito de comprobar la correspondencia de las secuencias obtenidas de especies vegetales del mismo grupo de estudio o de grupos cercanos se utilizó la aplicación de comparación de similitud "Basic Local Alignment Tool" (BLAST) para todas las secuencias utilizadas en este estudio en la página de "National Center for Biotechnology Information" (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>). Las secuencias fueron alineadas en Bioedit (Hall 1999) con la herramienta ClustalW Multiple Alignment. Posteriormente, se revisó el alineamiento en el programa MEGA v5 (Tamura et al. 2011) para corregir la aparición de codones de término, alinear las secuencias de aminoácidos y revisar la secuencia del codón en el caso de aparecer un aminoácido diferente, comparando entre individuos de la misma especie.

b) Análisis filogenéticos

En primera instancia se reconstruyó una filogenia con las 145 secuencias nucleotídicas obtenidas (121 de las extracciones nuevas; 24 de GenBank) que incluyó más de un individuo por especie, para evaluar la consistencia de las secuencias al nivel de especies. Luego se hizo la reconstrucción filogenética para la medición de la DF que incluyó solo un individuo por especie, priorizando aquellas secuencias obtenidas a partir de las extracciones de material foliar recolectado por nosotros (ver secuencias destacadas con * en Anexo 3 Tabla 1 y 3). En el caso del género *Sophora*, al no ser posible la amplificación del DNA del individuo recolectado, se utilizó una secuencia de Genbank de otra especie de la sección *Edwardsia*, a la que pertenece la especie de estudio *Sophora cassioides* (R.A.Phil.) Sparre. Cabe destacar que la mayoría de las especies de la sección *Edwardsia* tienen secuencias idénticas de nrDNA de ITS, lo que indica una variación reciente (Mitchell & Heenan 2002), por lo que se espera que los resultados de la medición de DF no se vean afectados. Se utilizó como grupo externo en ambos casos la especie *Ginkgo biloba*, cuya secuencia se obtuvo de Genbank.

El análisis filogenético con un individuo por especie fue realizado mediante los algoritmos de Parsimonia, Inferencia Bayesiana y Máxima verosimilitud. Para la medición de la DF fue utilizada la filogenia de Inferencia Bayesiana, dado que tiene la ventaja de que el resultado es un solo árbol de consenso a partir de todos los árboles muestreados en la zona de convergencia. Los análisis de Parsimonia se realizaron en el programa PAUP*4.0b10 (Swofford 2003). Se excluyeron los caracteres no informativos, los que fueron tratados como no ordenados, asignándoles igual peso (Broughton et al. 2000). Se hizo una búsqueda heurística de los árboles más parsimoniosos, conducidas con el algoritmo de "barrido de ramas" (branch-swapping) por bisección y reconexión del árbol

("tree-bisection-reconnection: TBR") con adición aleatoria de especies al árbol inicial (100 réplicas). Para determinar el soporte de los nodos se realizó un bootstrap no paramétrico de 1.000 iteraciones, donde se consideró un nodo bien soportado por sobre un 70% de valor de bootstrap (Hillis & Bull 1993).

Los análisis de Inferencia Bayesiana se realizaron en MrBayes v3.2.1 (Ronquist & Huelsenbeck 2003). Previamente, se evaluó el modelo de sustitución nucleotídica más simple que se ajusta a cada set de datos, que considera el número de tipos de sustituciones nucleotídicas y si aplica medir la tasa de heterogeneidad de gamma (G) y la proporción de sitios invariantes (I) según el criterio de información de Akaike corregido (Akaike 1974) utilizando jModelTest 2.1.3 (Darriba et al. 2012). Para hacer el árbol filogenético con 145 secuencias nucleotídicas se utilizó el modelo de sustitución GTR+I+G, mientras que para hacer el árbol de 76 secuencias, se utilizó el modelo de sustitución GTR+G. Para ambos árboles se usó el algoritmo Metrópolis-coupled Montecarlo vía Cadenas de Markov (MC³) con dos análisis independientes de 10⁶ generaciones y cuatro cadenas de Markov, cada uno a partir de un árbol elegido al azar. Del mismo modo, los parámetros fueron muestreados cada 1.000 generaciones y se desechó el 25% de las primeras muestras. En ambos casos, para determinar el soporte de los nodos, fueron realizadas pruebas de credibilidad o probabilidad a posteriori, donde se consideró un nodo bien soportado por sobre 0,95 (Ronquist & Huelsenbeck 2003).

El análisis de Máxima Verosimilitud se realizó en el programa PAUP*4.0b10 (Swofford 2003) usando el modelo GTR+G. Se realizaron búsquedas heurísticas según el criterio de Máxima Verosimilitud con los mismos algoritmos utilizados para el análisis de Parsimonia. Para determinar el soporte de los nodos se realizó un bootstrap no paramétrico de 200

iteraciones, donde se consideró un nodo bien soportado por sobre un 70% de valor de bootstrap (Hillis & Bull 1993).

Medición de riqueza y diversidad filogenética

La riqueza y la DF de los árboles (Faith 1992a), tanto a nivel de especies como de géneros, fueron determinadas para bandas longitudinales de 0,5 grados de latitud y para cuadrantes de 0,5 grados de latitud por 0,5 por grados de longitud. Se incluyeron todas las latitudes y cuadrantes donde hay árboles en el Hotspot (25° a los 47°S) según las optimizaciones realizadas. La riqueza corresponde al número de taxa presentes en cada banda longitudinal o cuadrante según las optimizaciones y fue medida tanto a nivel de especies como de géneros.

La DF del subconjunto de taxa en una determinada banda o cuadrante, es la suma de las longitudes de rama en el camino mínimo abarcado por tales taxa en una filogenia. Si en un cuadrante o banda de latitud están presentes todos los taxa, la DF será entonces la suma de todas las longitudes de rama.

La DF total de un árbol se define como:

$$PD_{\{A\}} = \sum_i (L_i) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde {A} es el conjunto de todos los taxa presentes en un árbol,

i es todo segmento comprendido entre dos nodos del mismo árbol.

Luego, para medir la DF de un subconjunto de taxa presentes en el árbol, se expresa:

$$PD_{\{a\}} = \sum_i \{[\min(k_i, 1)] \times (L_i)\} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde {a} es un subconjunto de taxa presentes en {A}

Para calcular la riqueza de especies y géneros se utilizó el programa Biodiverse 0.17 (Laffan et al. 2008). Este programa permite ingresar los datos previamente optimizados de las 78 especies arbóreas directamente, a partir de los cuales se generó una serie de bandas paralelas en sentido longitudinal de 0,5 grados de latitud, a partir de los 47°S, de modo de cubrir los datos de ocurrencias de todas las especies. Para los cuadrantes se generó una grilla de 0,5 x 0,5 grados de latitud por longitud, cuadrando la grilla desde los 47°S a partir del límite Este del área de estudio, a -75,694 grados de longitud.

Para medir los valores de DF a nivel de especies, se ingresó al programa Biodiverse el árbol filogenético de Inferencia Bayesiana con un individuo por especie, al que se le removió la rama del grupo externo, ya que la DF es medida hasta la raíz del árbol. Además fueron agregadas las ramas de tres especies de las que no se obtuvo una secuencia nucleotídica (*Dasyphyllum excelsum*, *Lomatia ferruginea* y *L. hirsuta*), puesto que la distribución de estas especies es relevante en la medición de DF porque no se corresponde con la distribución de las especies hermanas. Por ejemplo, *Dasyphyllum diacanthoides* se distribuye principalmente en el sur de Chile y Argentina, mientras que *Dasyphyllum excelsum* tiene una distribución muy restringida en la Cordillera de la Costa de la V región.

Para ello, se adicionaron ramas junto a la especie hermana correspondiente en el programa MEGA v5 (Tamura et al. 2011), con un valor de largo de rama de cero, de modo que de estar presente el taxa, aportase el largo de rama mínimo del género (Fig. 5).

Para medir los valores de DF a nivel de géneros, el árbol filogenético fue modificado hasta obtener una sola rama por género. Si el género posee solo dos especies o más de dos especies agrupadas en una politomía, la nueva rama tiene un largo de rama equivalente al promedio de los largos de rama originales (Fig. 6a). Si el género posee más de dos especies y estas no se agrupan en una politomía, se obtiene el promedio del largo de ramas de los dos taxa más terminales y luego ese valor se promedia con el largo de rama del taxón hermano (Fig. 6b).

Para los cuadrantes, los resultados para la riqueza y DF fueron presentados en 20 tramos según quiebres naturales de Jenks (Coulson 1987), que es un método de clasificación de los datos en un número de tramos determinados, que busca minimizar la varianza dentro de cada tramo y a la vez maximizar la varianza entre los tramos. Los cuadrantes pertenecientes a los últimos dos tramos fueron considerados como los más diversos, tanto en términos de riqueza como de DF y a nivel de especies y géneros. Se comparó la ubicación de estos cuadrantes en relación a la línea de extensión máxima de los hielos durante el UMG según Hollin y Schilling (1981).

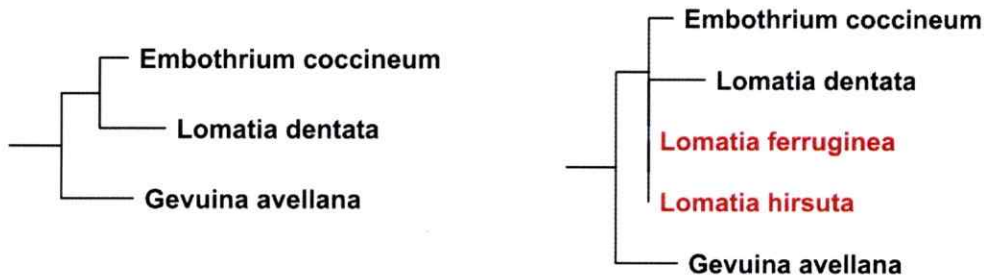


Figura 5. Procedimiento que muestra la adición de ramas de especies no amplificadas en el árbol filogenético elaborado con un individuo por especie. En el ejemplo se muestran en rojo las dos especies del género *Lomatia* que se insertaron junto a su especie hermana, con un largo de rama mínimo.

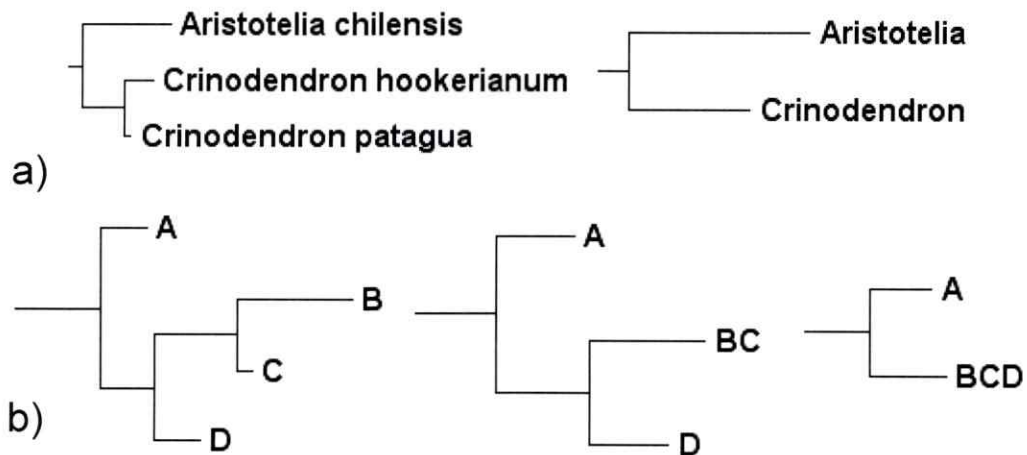


Figura 6. Procedimiento que muestra cómo se simplificó el árbol para medir a nivel de géneros. a) Si el género tiene dos especies, como *Beilschmiedia*, la nueva rama representante del género equivale al promedio de los dos largos de ramas. b) Si el género tiene más de dos especies, como el género BCD hermano del género A, se calcula el promedio de largo de ramas de BC y luego se promedia con el largo de ramas de D.

Comparación de la diversidad filogenética y riqueza

Para evaluar el grado de asociación entre riqueza y DF, primero se midió el valor del coeficiente de correlación de Spearman. Para comparar los valores de DF y de riqueza a nivel de las bandas de latitud y cuadrantes, se realizó un análisis de los residuales de una regresión de Loess de los valores de DF y la riqueza utilizando la función Loess incorporada a R (<http://127.0.0.1:12603/library/stats/html/loess.html>). Este análisis fue efectuado tanto a nivel de especies como de géneros. De esta manera se detectaron las bandas de latitud y cuadrantes que están hiperdispersos (residuales positivos) e hipodispersos (residuales negativos) con respecto a la riqueza. Los resultados para los cuadrantes fueron presentados en 11 tramos según los quiebres naturales de Jenks.

También se determinó el grado de híper o hipodispersión de la DF en relación a la riqueza, utilizando un modelo nulo para comparar el DF observado (DF_{obs}) de cada banda de latitud o cuadrante, con la distribución de DF de 10.000 repeticiones manteniendo la riqueza de especies y haciendo variar al azar los nombres de los taxa. Se calculó el valor de DF estandarizado por la riqueza (DF_{est}) definido de la siguiente manera:

$$PD_{est} = \frac{DF_{observado} - DF_{promedio\ de\ las\ repeticiones}}{SD\ de\ la\ DF\ en\ las\ repeticiones}$$

Ecuación 3

Para medir los valores de DF_{est} y el valor de p asociado, se utilizó la función `ses.PD` del paquete "Picante" en R (Kembel et al. 2010).

Análisis de las áreas protegidas

Las áreas protegidas existentes se agruparon en tres categorías: 1) Pertenecientes al Estado, que incluye las áreas del SNASPE (Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales) y Bienes Nacionales Protegidos, 2) Santuarios de la Naturaleza, que pueden ser de propiedad privada o pública pero son reconocidos y protegidos por el Estado como Monumentos Nacionales, y 3) Iniciativas de Conservación Privadas (ICP), que no tienen reconocimiento legal por parte del Estado.

Se determinó la superficie y el porcentaje de superficie protegida del área total del Hotspot de Chile (comparando estos con Chile continental) para cada banda de latitud y para cada cuadrante utilizando SIG. Además, se analizaron las áreas protegidas encontradas en el rango de mayor DF. Se obtuvieron las cartografías digitales de las áreas protegidas pertenecientes al Estado y los Santuarios de la Naturaleza de la página de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) del Ministerio del Medio Ambiente (<http://ide.mma.gob.cl/>). Además se utilizó el Catastro de Iniciativas de Conservación Privadas (ICP) recientemente elaborado para el proyecto GEF/PNUD: Creación de un Sistema Nacional de Áreas Protegidas para Chile.

Para determinar si la superficie protegida guarda relación con las áreas de mayor DF se comparó el porcentaje de área protegida con la DF por banda de latitud y cuadrante, calculando el coeficiente de correlación de rangos Tau de Kendall usando el paquete de R "Kendall", que puede corregir la presencia de valores repetidos o empates en los rangos, como ocurre en estos datos, considerando los resultados tanto a nivel de géneros como de especies. También se efectuó este análisis para la riqueza. Para determinar el grado de protección en los cuadrantes pertenecientes a los últimos dos tramos de los 20 quiebres

naturales de Jenks, se calculó la superficie protegida, porcentaje de la superficie total protegida y porcentaje de cada uno de los seis tipos de protección (Parques Nacionales, Reservas Nacionales, Monumentos Naturales, Bienes Nacionales Protegidos, Santuarios de la Naturaleza e ICP). Para determinar las posibilidades reales de futuras iniciativas de conservación, se calculó el porcentaje del cuadrante con bosque disponible para la conservación, según la ecuación 4. Se usó el Catastro de los recursos vegetacionales nativos de CONAF-CONAMA-BIRF 1997, considerando como bosques las categorías de nativo, mixtos y renovales.

$$\text{Porcentaje de bosque disponible para la conservación} = \frac{\text{área de bosques} - \text{área protegida}}{\text{área total cuadrante}} \times 100$$

Ecuación 4

RESULTADOS

Las 78 especies de árboles en el Hotspot de Chile constituyen el 92,9% de los árboles presentes en Chile continental. Al igual que la flora boscosa total de Chile, la flora arbórea del Hotspot se caracteriza por el bajo número de especies por género (Tabla 1) y por el alto grado de endemismo, ya que 84,6% de las especies y el 30,7% de los géneros están restringidos a los bosques chileno-argentinos. Además, hay 12 géneros monotípicos (23,08%). Todos los elementos fitogeográficos definidos por Villagrán & Hinojosa (1997) que se encuentran en el bosque chileno se encuentran en el Hotspot.

Tabla 1. Composición taxonómica de la flora arbórea del Hotspot de Chile continental.

Nivel taxonómico	Flora arbórea Hotspot de Chile
Especies	78
Géneros	52
Familias	29
Géneros con 1 a 2 representantes arbóreos en el Hotspot	48 (92,3%)
Géneros 3 o más representantes arbóreos en el Hotspot	4 (7,7%)

Base de datos y optimización

Los registros georreferenciados disponibles para el área del Hotspot se observan en la Figura 7. Algunos cuadrantes no presentan ningún registro. Se eliminaron 20 cuadrantes que tenían menos del 5% de su superficie dentro del Hotspot chileno. La optimización de la base de datos aumentó la presencia de las especies de un promedio de 37,6 cuadrantes a un promedio de 64,2 cuadrantes, arrojando presencias en 206 (Fig. 8). En la Figura 9 se observa la variación de la riqueza de especies arbóreas por cuadrante, antes y después de realizar la optimización de la base de datos. Los resultados de la optimización para cada especie se observa en el Anexo 5. La especie que más aumentó fue *Drimys winteri* (de 76 a 134 cuadrantes) mientras que *Araucaria araucana* no varió.

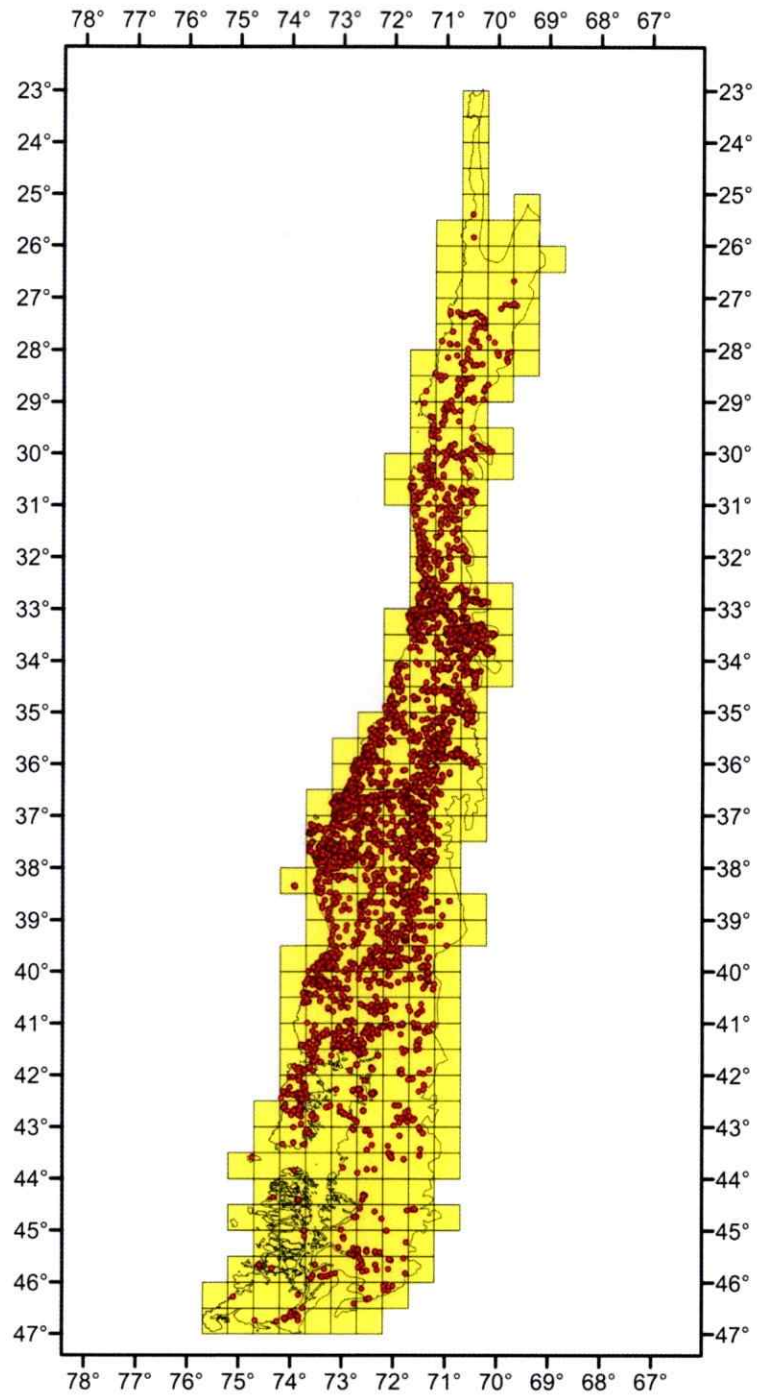


Figura 7. Registros georreferenciados de 78 especies arbóreas nativas presentes en el Hotspot chileno, superpuestos sobre una grilla de 233 cuadrantes que cubre todo el Hotspot.

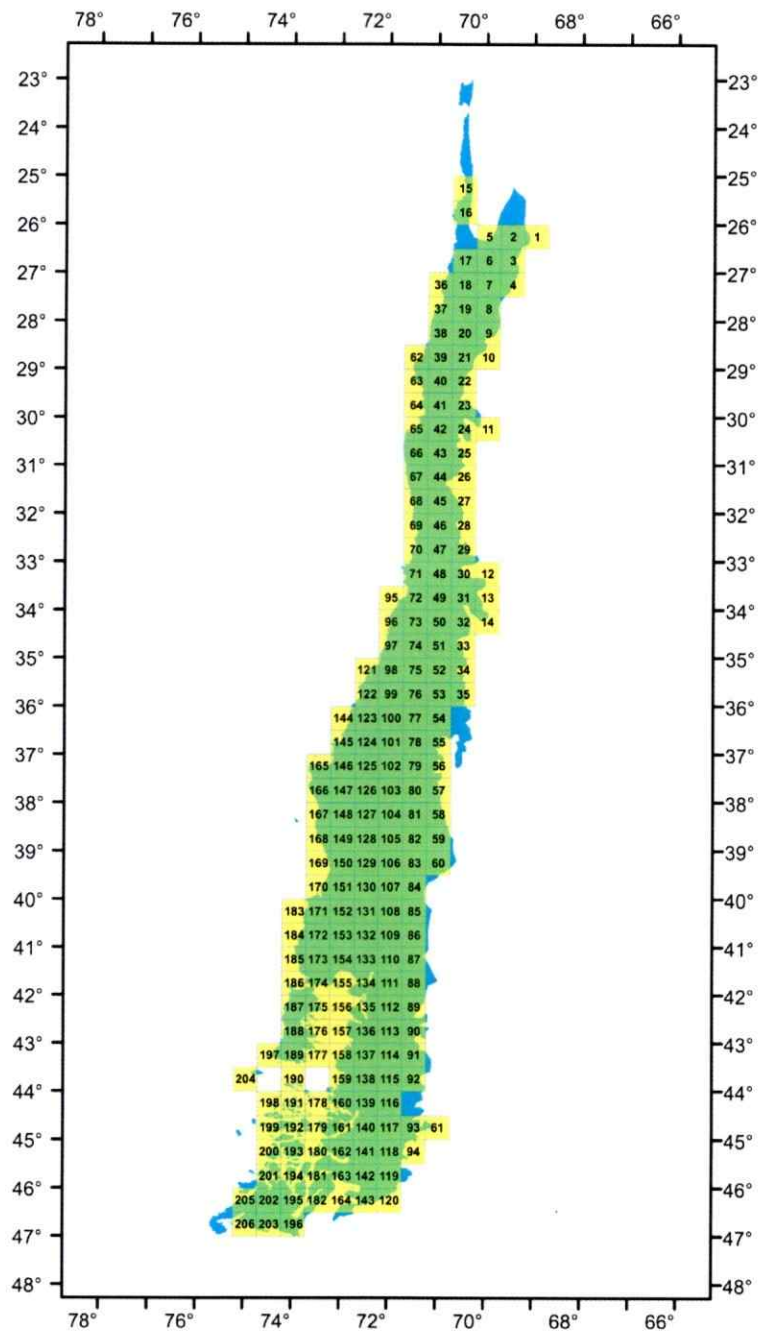


Figura 8. Grilla de 206 cuadrantes enumerados obtenida utilizando los datos de ocurrencias de las especies arbóreas optimizados, superpuesta en el área del Hotspot de Chile.

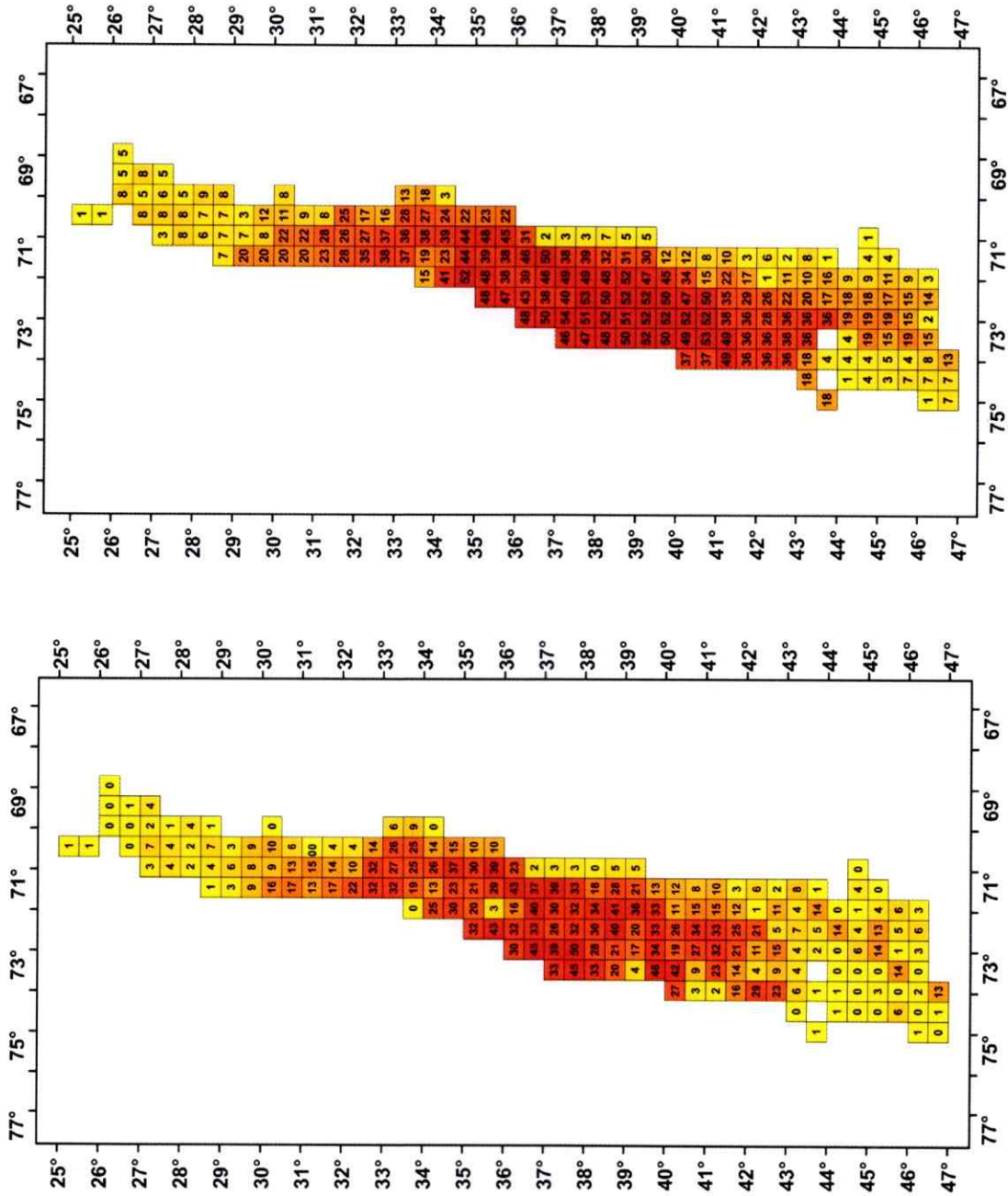


Figura 9. Riqueza de especies por cuadrante antes de optimizar la base de datos (izquierda) y luego de aplicarla (derecha).

Relaciones filogenéticas

La Figura 10 muestra el árbol filogenético de Inferencia Bayesiana de 145 secuencias nucleotídicas del gen cloroplastidial *rbcL* obtenidas a partir de trabajo experimental y de Genbank, en donde se utilizó más de un individuo por especie. Por un lado, se observa que las relaciones filogenéticas se resuelven a nivel de géneros y también a nivel de especies en algunos géneros como *Podocarpus*, *Escallonia* y *Amomyrtus*, según el apoyo de los nodos de probabilidad posterior. También se observan los valores de bootstrap del análisis de Parsimonia que en general concuerdan con los de probabilidad posterior. Por otro lado, la topología del árbol es concordante con los órdenes y divisiones mayores de las plantas vasculares propuesto por Angiosperm Phylogeny Website (Stevens 2001) que son señalados en la Figura 10.

En la Figura 11 se muestra el árbol filogenético definitivo de Inferencia Bayesiana construido con un individuo por especie, donde se usaron 76 secuencias nucleotídicas, donde se muestran los largos de rama. Se señala el apoyo de los nodos según probabilidad posterior, además de los apoyos de bootstrap de los análisis de Parsimonia y Máxima Verosimilitud. El resultado de la simplificación a nivel de géneros del árbol de Inferencia Bayesiana se observa en la Figura 12.

Figura 10. Árbol filogenético de Inferencia Bayesiana con 144 individuos de 75 especies arbóreas nativas construido a partir del gen cloroplastidial *rbcl*. En los nodos se observan los valores de apoyo de probabilidad posterior y los valores de bootstrap del análisis de Parsimonia. En azul se señalan los principales órdenes y en rojo las grandes divisiones de las plantas vasculares según APG (Stevens 2001).

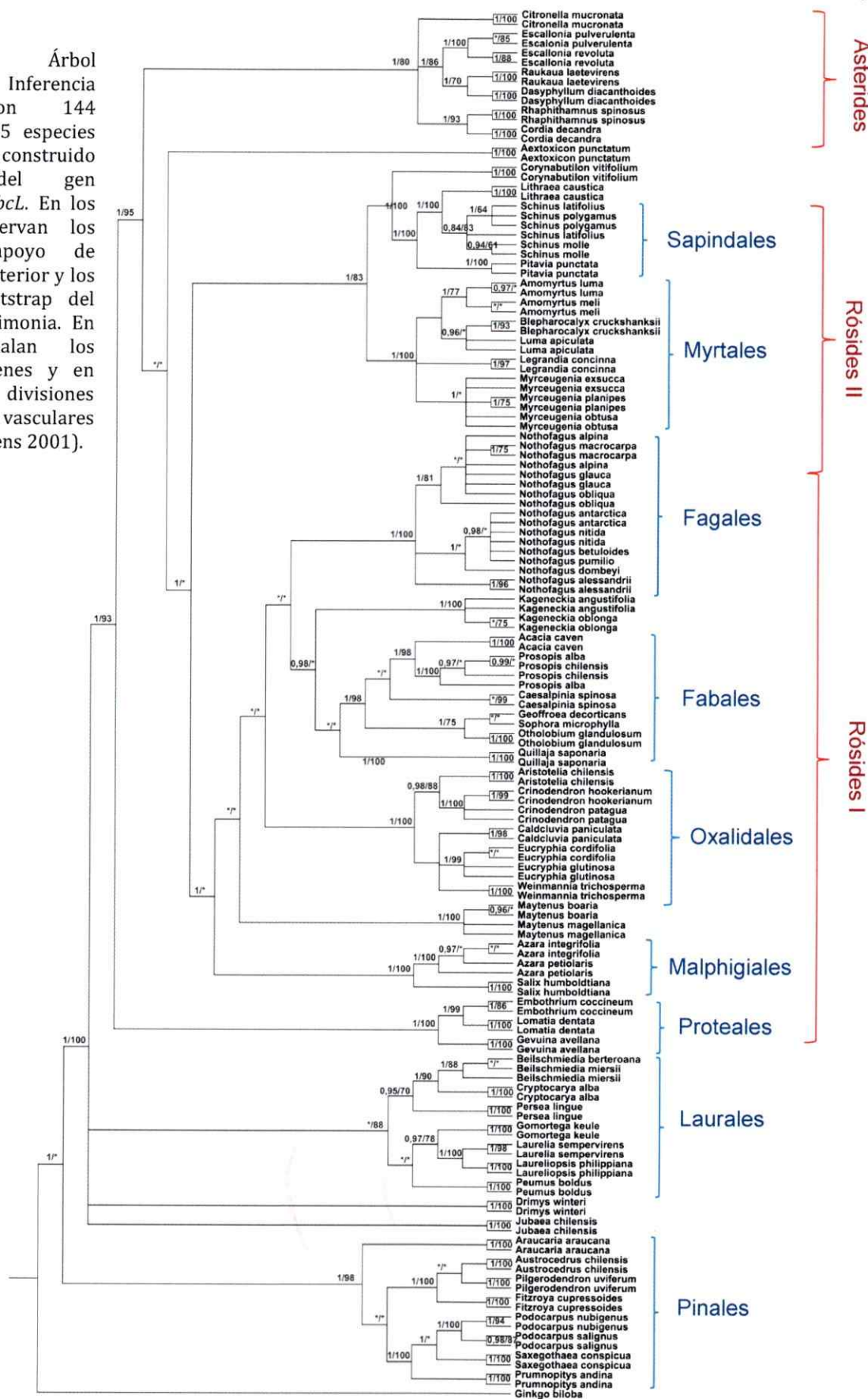
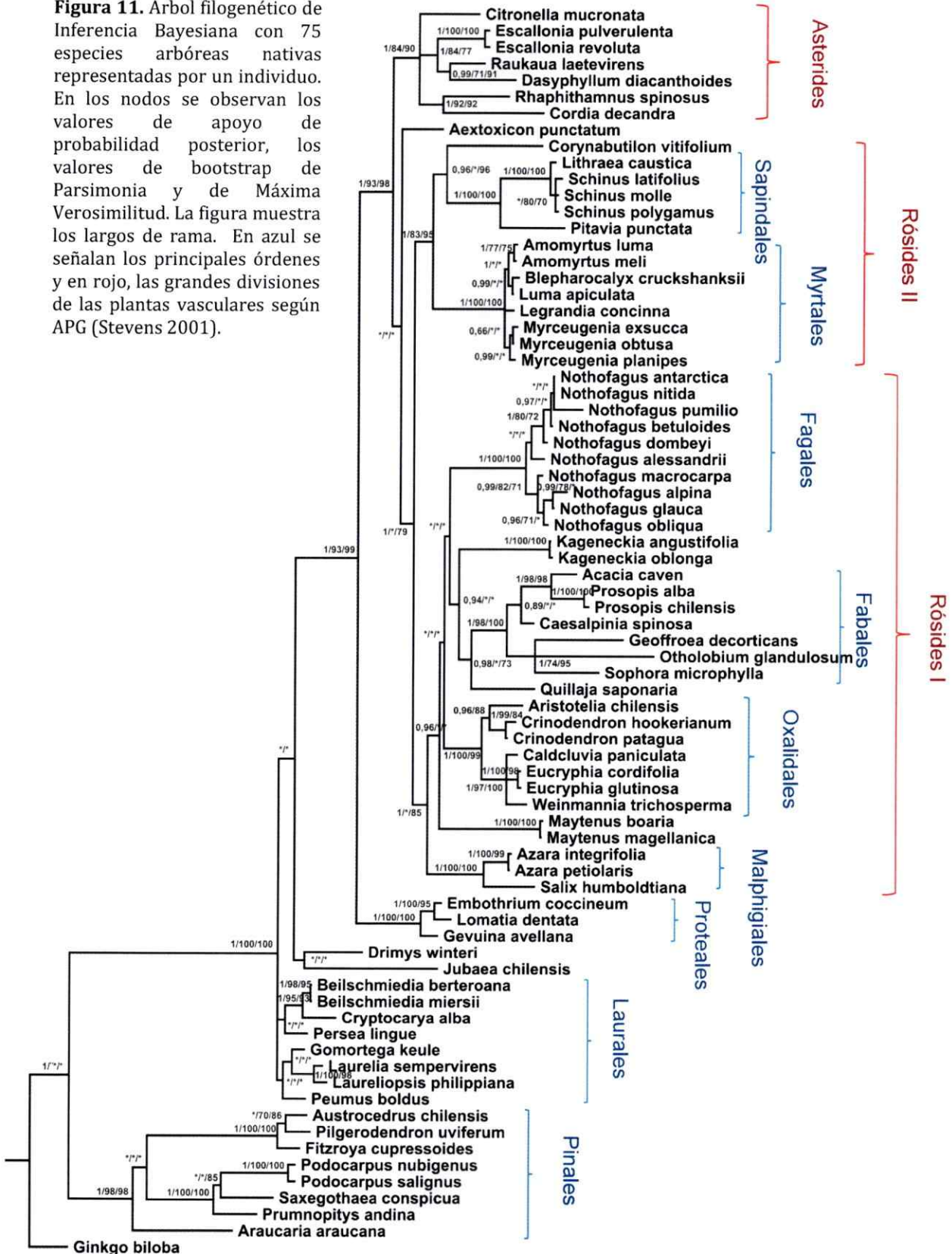


Figura 11. Árbol filogenético de Inferencia Bayesiana con 75 especies arbóreas nativas representadas por un individuo. En los nodos se observan los valores de apoyo de probabilidad posterior, los valores de bootstrap de Parsimonia y de Máxima Verosimilitud. La figura muestra los largos de rama. En azul se señalan los principales órdenes y en rojo, las grandes divisiones de las plantas vasculares según APG (Stevens 2001).



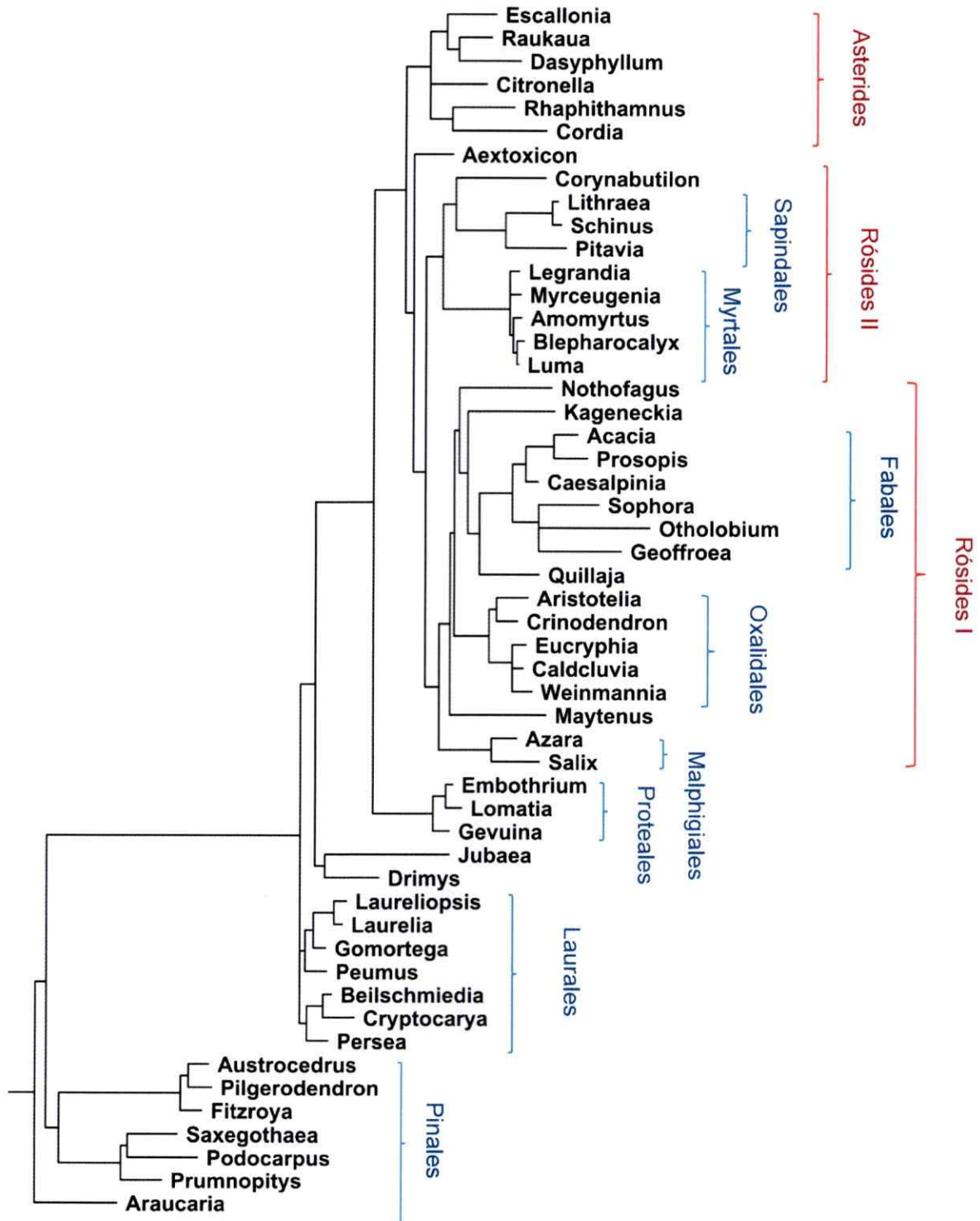


Figura 12. Simplificación a nivel de géneros del árbol filogenético con un individuo por especie (Fig. 11) usado para la medición de DF a nivel de géneros. Se muestran los 52 géneros considerados en el estudio, cuyo largo de ramas es proporcional a los resultados a nivel de especies. En azul se señalan los principales órdenes y en rojo las grandes divisiones de las plantas vasculares según APG (Stevens 2001).

Riqueza y diversidad filogenética a nivel latitudinal

Los resultados para la riqueza de géneros y especies arbóreas en bandas de 0,5 grados de latitud se muestran en la Figura 13a y 13b. Los mayores valores de riqueza para los géneros y especies se encuentran aproximadamente entre los 34,5° S y los 41°S, con un máximo a los 37° y 37,5°S para los géneros (N=45) y las bandas a los 36° y 37,5°S para las especies (N=62). En las latitudes de mayor riqueza se ubica entre 76,9% (N =40) y 86,5% (N = 45) de los géneros arbóreas y 69,2% (N = 54) y 79,5% (N =62) de las especies. Tanto hacia latitudes mayores como menores, el porcentaje de especies y de géneros cae notoriamente.

Los resultados de la medición de la DF a nivel de géneros y especies se muestran en la Figura 13c y 13d. En ambos casos la DF se concentra aproximadamente entre los 34° y 41°S en un rango muy similar al de la riqueza de géneros y especies. En el caso de los géneros, se registran valores entre 81,7% y 88,3% de la DF total por banda y para las especies valores muy similares (80,1% – 87,9%). Sin embargo, la reducción de DF hacia el norte y sur tanto para los géneros como las especies es menos abrupta que en el caso de la riqueza.

La DF y la riqueza están altamente correlacionadas de manera positiva a nivel de géneros (Coeficiente de Spearman: 0,9917674; $p < 0,01$) y a nivel de especies (Coeficiente de Spearman: 0,9825273; $p < 0,01$). Al analizar los residuos de la regresión de DF y los valores de DF_{est} según la riqueza, se observa una tendencia de hiperdispersión de la DF al norte del área de máxima DF y riqueza, y de hipodispersión hacia el sur del área de máxima DF y riqueza. A nivel de especies no se encuentran zonas significativamente hiperdispersas

(nivel de significancia 0,05) y a nivel de géneros destaca una banda significativamente hipodispersa a los 36,5°S, en el rango señalado como de mayor DF y riqueza.

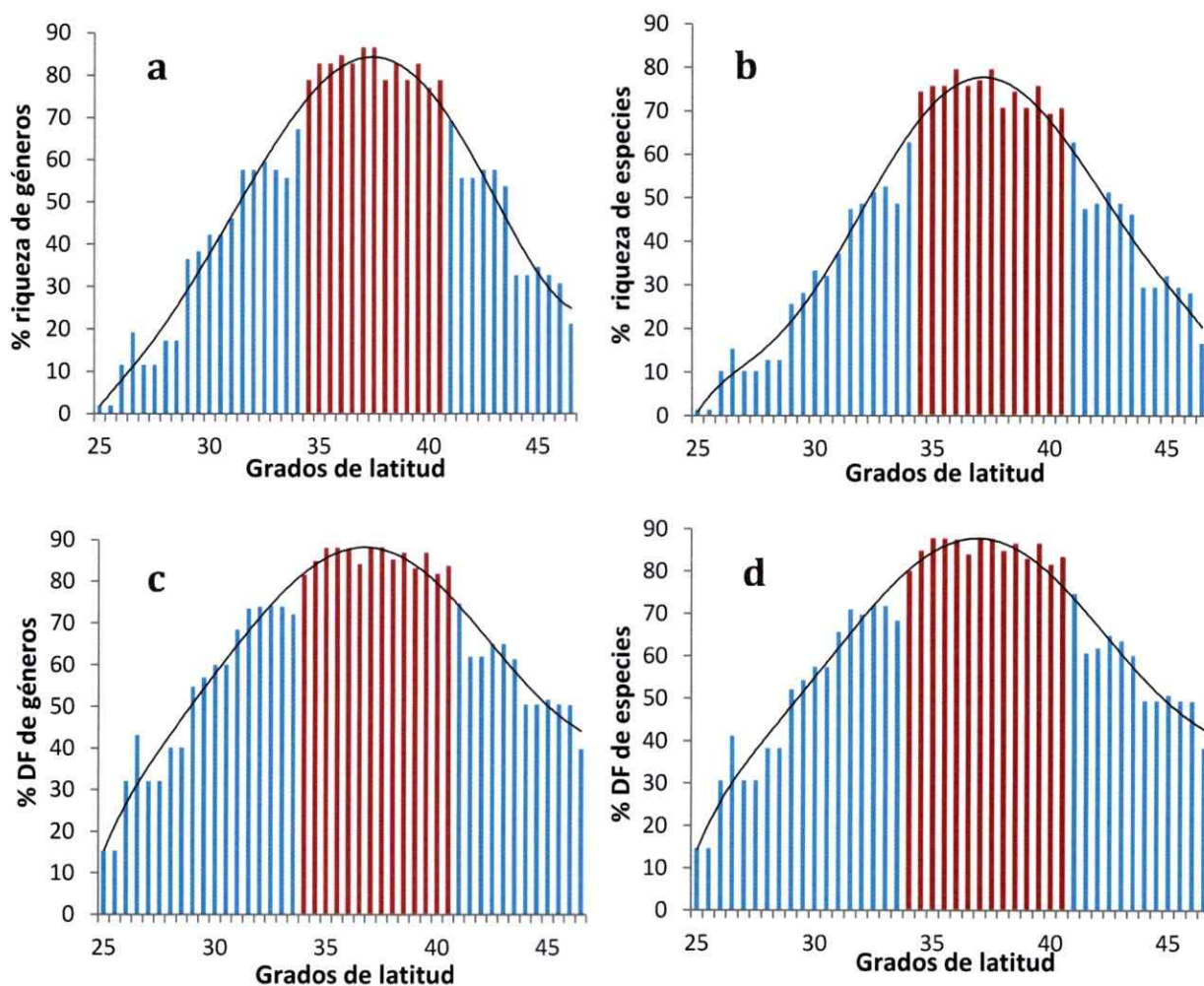


Figura 13. Distribución del porcentaje de riqueza y DF en bandas de 0,5 grados de latitud, medido a nivel de géneros (a y c) y de especies (b y d). Las curvas indican las tendencias generales.

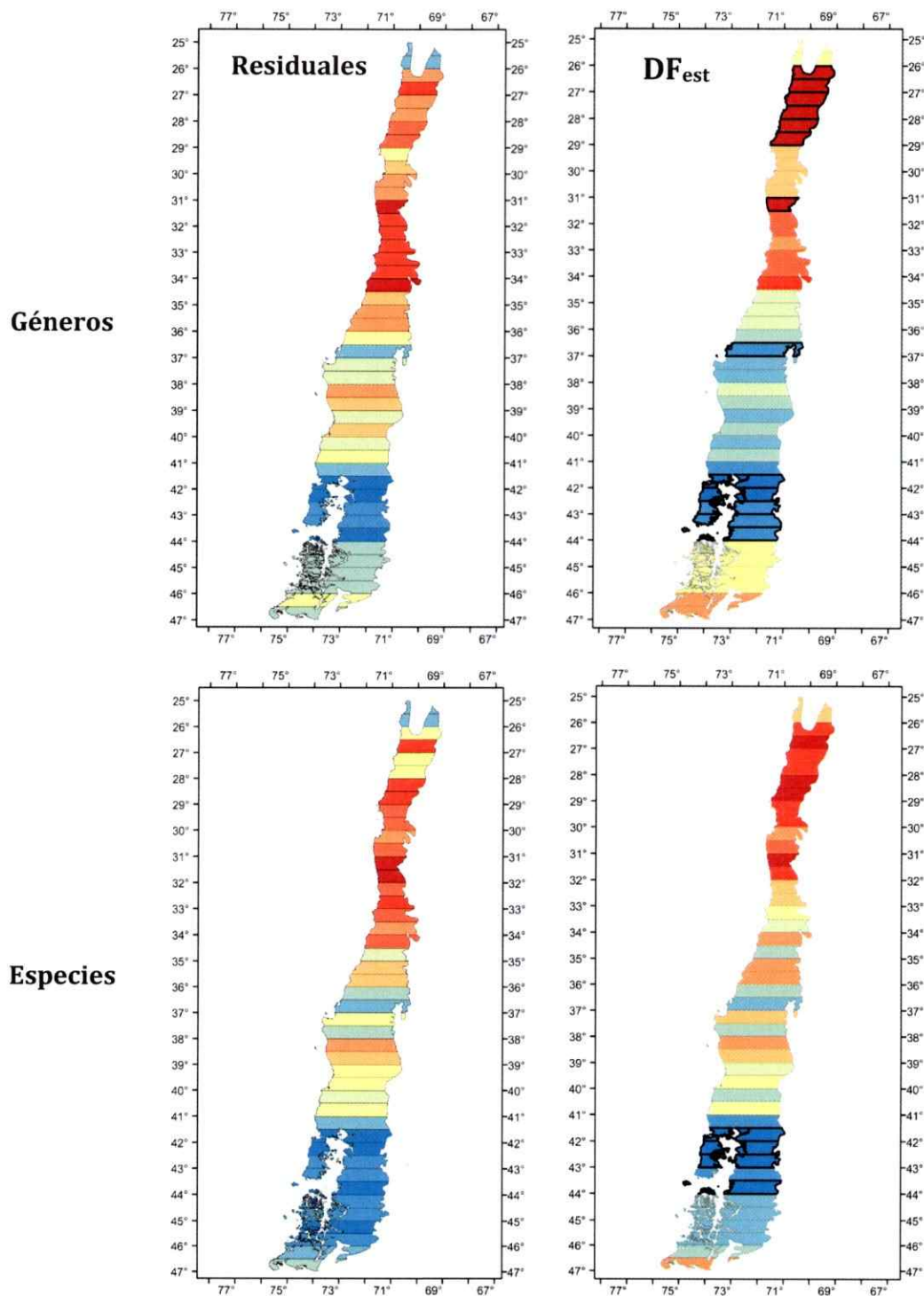


Figura 14. Distribución de la DF relativa a la riqueza en bandas latitudinales de 0,5 grados de latitud a nivel de géneros y especies. Izquierda: Residuales positivos (rojos) y negativos (azules) de una regresión de Loess de DF según riqueza. Derecha: Distribución de DF_{est} calculado a partir de 10.000 repeticiones al azar. Se resaltan los cuadrantes con $p < 0,05$.

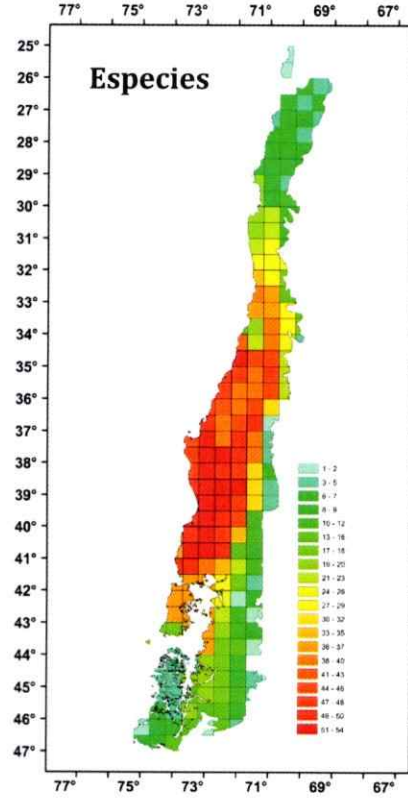
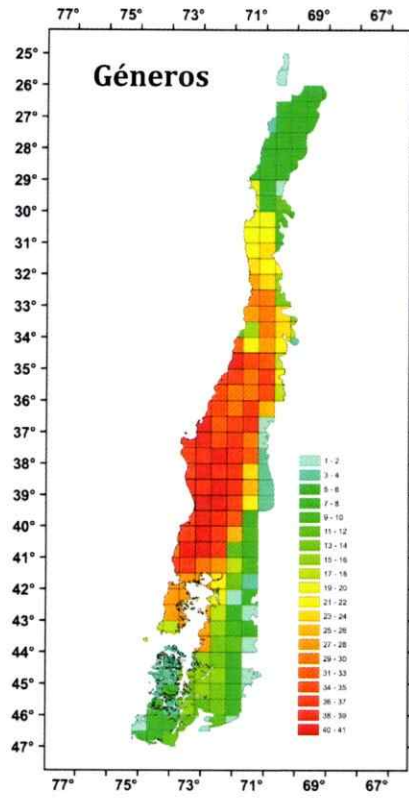
Riqueza y diversidad filogenética a nivel de cuadrantes

La distribución de riqueza y de DF para los géneros y las especies en tramos se observa en la Figura 15. Los análisis a esta escala espacial permiten detectar las áreas de alta riqueza y DF con más precisión, además de comparar la riqueza y DF en relación a la posición de máxima extensión de los hielos en el UMG y los refugios glaciales propuestos. Se destaca que la mayor riqueza tanto para géneros como para especies se encuentra en la Cordillera de la Costa entre 34°-41°S y también en el Valle Central entre los 40° y 37,5°S. De los 39°S hacia el norte, algunos cuadrantes de los Andes también presentan una alta riqueza, produciendo un patrón de "U". Estos patrones se aprecian más en la Figura 16 donde se consideraron los dos últimos de los 20 tramos construidos según los quiebres naturales de Jenks que se hizo para cada indicador. En cuanto a la DF, esta también se concentra principalmente en la Cordillera de la Costa y Valle Central tanto para los géneros y especies (Figura 15).

Considerando especies versus géneros, los patrones de riqueza y DF suelen ser más similares entre sí para los géneros que para las especies. No obstante, la DF y la riqueza están altamente correlacionadas a nivel de géneros (Coeficiente de Spearman: 0,9902, $p < 0,01$) y a nivel de especies (Coeficiente de Spearman: 0,9873261, $p < 0,01$). Al sobreponer los cuadrantes que resultaron tener la mayor DF y mayor riqueza, tanto a nivel de géneros como de especies (Fig. 16) se destaca que todos están por sobre la línea de hielos o intersectan con ella. En general hay cierta correspondencia entre estos cuadrantes y las áreas propuestas como refugios por Villagrán (1991) (la depresión intermedia entre 35-42°S; la costa entre 40-42°S, la Cordillera de la Costa (36-40°S) y los faldeos costeros entre 30-35°S).

Si bien la riqueza y DF están altamente correlacionadas, al analizar los residuos de la regresión de DF según riqueza y los valores de DF_{est} , se identifican más cuadrantes hiperdispersos en el sector centro y norte del Hotspot (es decir en el sector norte de la zona de máxima riqueza y más al norte todavía), mientras que los hipodispersos se ubican primariamente más al sur del área de máxima riqueza (Fig. 17). A nivel de especies, no se distingue un patrón en los cuadrantes significativamente hiperdispersos.

Riqueza



DF

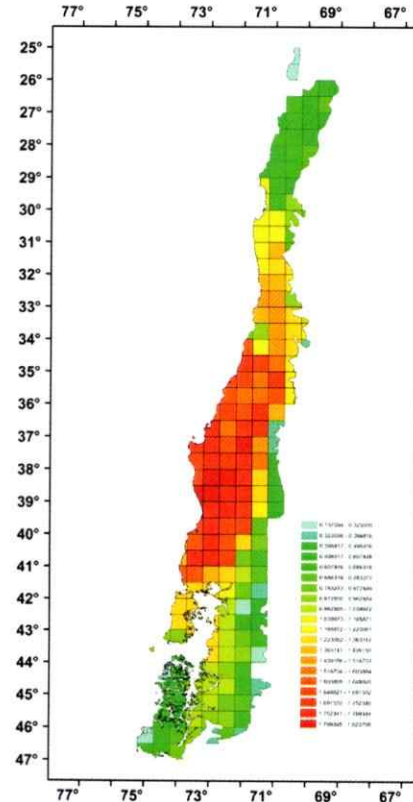
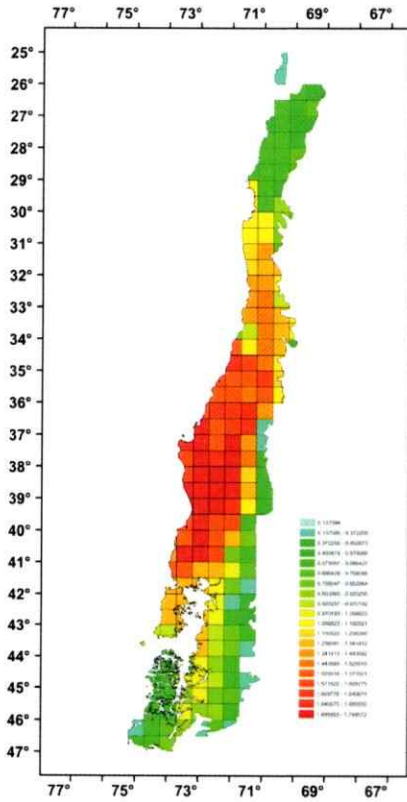


Figura 15. Distribución de la riqueza y DF a nivel de géneros (izquierda) y especies (derecha).

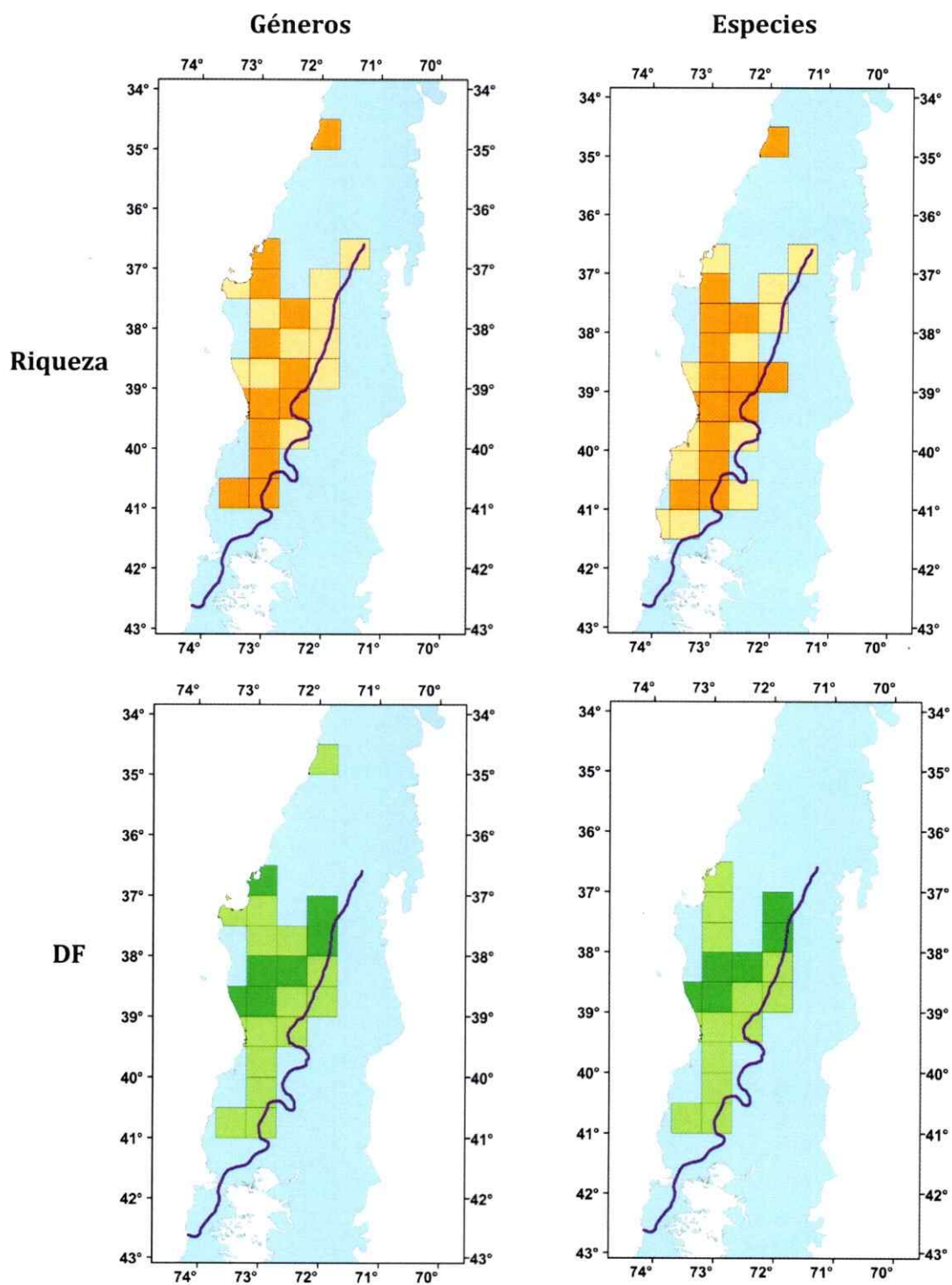
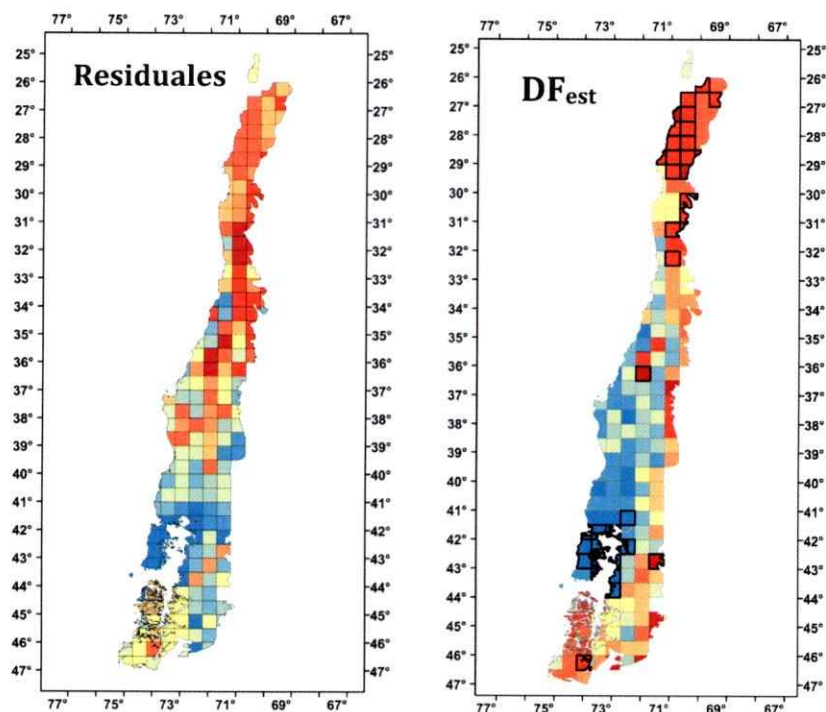


Figura 16. Cuadrantes de los últimos dos tramos de riqueza y DF a nivel de géneros (izquierda) y de especies (derecha). Se observa la línea de máxima extensión de los hielos en el Último Máximo Glacial según Hollin and Schilling (1981). Los colores más fuertes indican que los cuadrantes pertenecen al último de los 20 tramos y los más pálidos al penúltimo.

Géneros



Especies

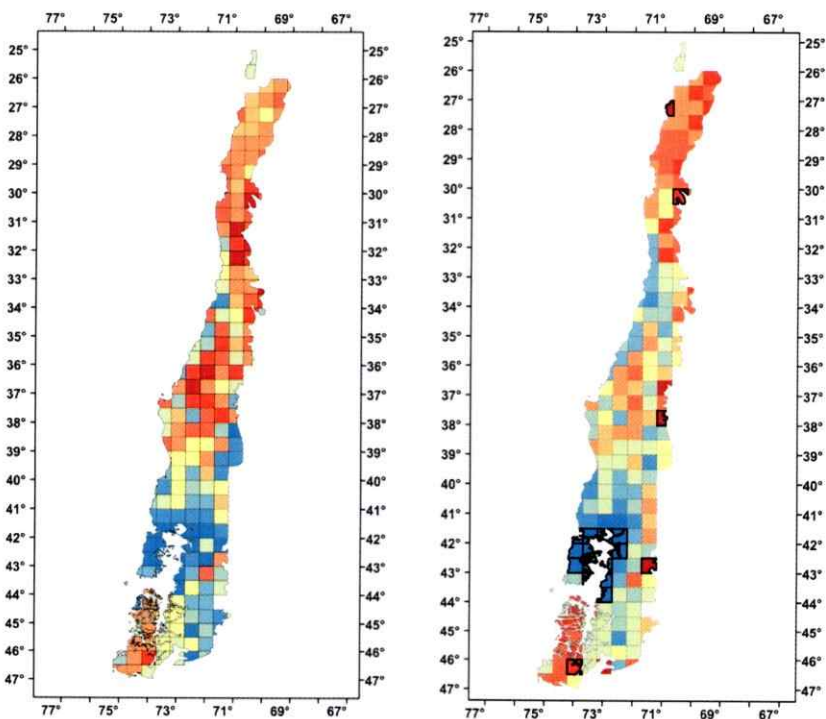


Figura 17. Distribución de la DF relativa a la riqueza a nivel de géneros y especies. Izquierda: Residuales positivos (rojos) y negativos (azules) de una regresión de Loess de DF según riqueza. Derecha: Distribución de DF_{est} calculada a partir de 10.000 repeticiones al azar. Se resaltan los cuadrantes con $p < 0,05$.



Análisis de las áreas protegidas

En el Hotspot chileno el 12,51% del total de su superficie se encuentra en alguna categoría de protección. Las áreas protegidas del Estado contribuyen el mayor porcentaje (78,2%), seguido por las ICP (13,57%) y Santuarios de la Naturaleza (7,97%) (Tabla 2). Por otro lado, a nivel de país, el porcentaje protegido alcanza el 22,4%.

La distribución de las áreas protegidas en el Hotspot chileno a nivel latitudinal se muestra en la Figura 18, junto al resto de las latitudes de Chile continental. De las 56 bandas que abarcan el rango latitudinal del Hotspot (19°-47°S) hay 34 bandas en que menos de un 10% del área es protegida y 10 en que más del 20% está protegido. Estas últimas se encuentran más al sur de los 41°S. A la escala de bandas de latitud de 0,5 grados, no existe una correlación entre la DF de especies y el porcentaje de superficie protegida (Tau de Kendall: -0,0712, $p=0,5042$) (Fig. 19). Lo mismo ocurre entre la relación entre riqueza de especies y porcentaje de área protegida (Tau de Kendall: -0,0183, $p=0,87119$). En el rango latitudinal que se encontró mayor DF (entre 34°S y 41°S) solo un 6,85% del Hotspot se encuentra en algún tipo de área protegida (Tabla 3), donde las áreas pertenecientes al Estado abarcan más del 50% de la superficie protegida.

Tabla 2. Superficie y porcentaje de las áreas protegidas en el Hotspot chileno y en Chile continental, según distintas categorías.

Categoría área protegida	Superficie protegida (ha)		Porcentaje respecto área total	
	Hotspot	Chile	Hotspot	Chile
Estado	3.890.486,7 (78,20%)	15.153.970,3 (89,86%)	9,78	20,13
ICP	674.932,5 (13,57%)	1.211.191,6 (7,18%)	1,70	1,61
Santuarios de la Naturaleza	396.511,2 (7,97%)	457.285,6 (2,71%)	1,00	0,61
Superposición ICP-Estado*	12.885,9 (0,26%)	40.610,7 (0,24%)	0,03	0,05
Total	6.713.457,4	16.863.058,1	12,51	22,4

* Superposición de las cartografías con que se trabajó en GIS.

Tabla 3. Área protegida en el rango latitudinal de mayor DF (34° - 41°S) en el Hotspot según distintas categorías. Se muestra la superficie y el porcentaje en relación al total de área en el mismo rango.

Categoría de Conservación	Unidades	Superficie (ha)	Porcentaje
Iniciativas de Conservación Privadas	177	374.874,8 (33,42%)	2,29
Parques Nacionales	11	356.070,8 (31,75%)	2,18
Reservas Nacionales	22	339.151,8 (30,24%)	2,07
Bienes Nacionales Protegidos	7	9.708,9 (0,87%)	0,06
Monumentos Naturales	2	179,3 (0,02%)	0,00
Santuarios de la Naturaleza	9	27.645,9 (2,46%)	0,17
ICP/otros*		10.907,8 (0,97%)	0,99
RN/SN*		3.079,0 (0,27%)	0,02
Área protegida total		1.121.618,3	6,85

*ICP/otros: área protegida considerada dentro de una Iniciativa de Conservación Privada y alguna otra categoría, debido a que se superponen las cartografías. *RN/SN: área protegida considerada como parte de una Reserva Nacional y Santuario de la Naturaleza.

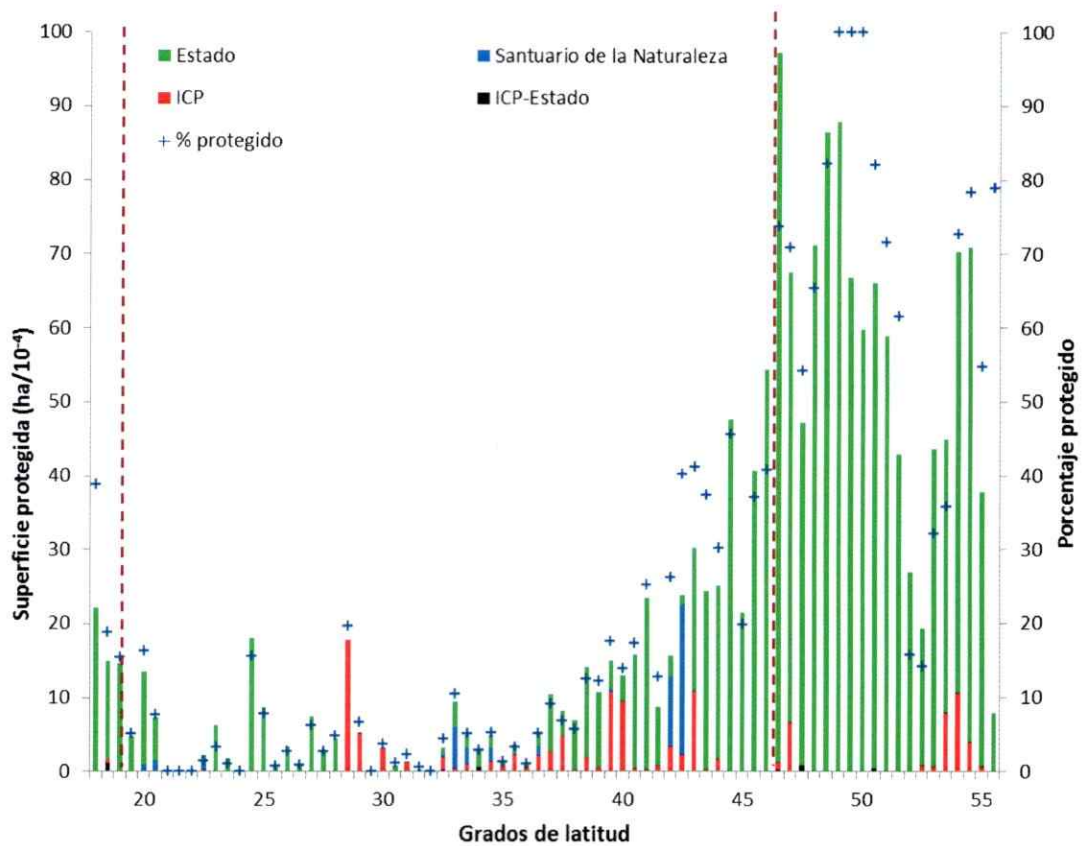


Figura 18. Histograma de superficie protegida en hectáreas por cada banda de 0,5 grados de latitud a lo largo de Chile (18°-56°S). Las cruces negras señalan el porcentaje de superficie protegida respecto al total. Entre las líneas punteadas se encuentran las latitudes pertenecientes al Hotspot de Chile.

A la escala de 0,5 grados de latitud por 0,5 grados de longitud, no existe una correlación entre DF de especies y superficie protegida (Tau de Kendall es -0,0321, $p=0,50727$) y tampoco entre riqueza de especies y superficie protegida (Tau de Kendall de -0,0167, $p=0,73279$) (Fig. 19). Cabe mencionar que hay cuadrantes cuya área protegida está levemente subestimada, debido a que los límites de las cartografías de las áreas protegidas y el Hotspot de Chile no coinciden de manera exacta. Para los cuadrantes 199, 200, 201, 202, 203, 205 y 206, el porcentaje de área protegida fue corregido, ya que era visible que este correspondía a un 100%.

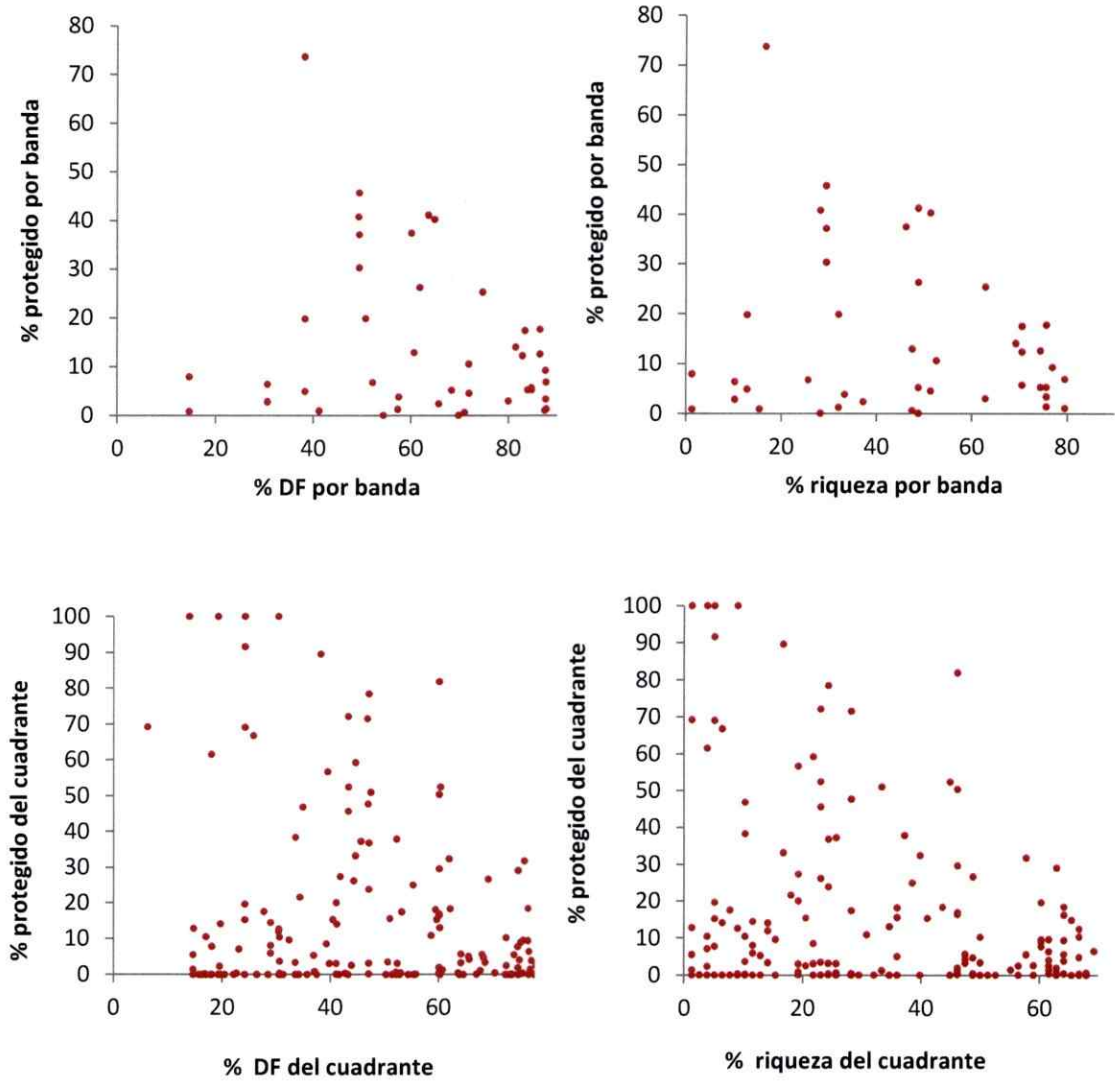


Figura 19. Izquierda: Relación entre el porcentaje de área protegida por banda (arriba) o cuadrante (abajo) y el porcentaje de DF de especies. Derecha: Relación entre el porcentaje de área protegida por banda (arriba) o cuadrante (abajo) y el porcentaje de riqueza de especies.

Para los 19 cuadrantes que resultaron tener la mayor DF a nivel de especies de árboles, solo un 3,59% del total de la superficie del conjunto de cuadrantes se encuentra en alguna categoría de área protegida (Tabla 4). La mayoría de las áreas protegidas existentes a las latitudes de estos cuadrantes se encuentran en zonas de la Cordillera de los Andes y no forman parte de los cuadrantes más ricos en DF (Fig. 20). En la Figura 20a se muestran las áreas protegidas que existen actualmente dentro de estos cuadrantes y el porcentaje de área protegida por cuadrante, que en promedio alcanza solo el 3,3%. Se observa que solo tres cuadrantes presentan más del 10% de su área protegida, mientras que 12 cuadrantes tienen menos del 1%. Hay que destacar que los seis cuadrantes con la mayor DF (pertenecientes al tramo 20) tienen menos del 2% de su superficie protegida y cinco de ellos menos del 1%. Es decir, en estos 19 cuadrantes y especialmente los seis que presentan la DF más alta, el nivel de protección es muy inferior en relación al Hotspot en general.

Tabla 4. Área protegida de los cuadrantes con mayor DF de especies arbóreas en términos de superficie y de porcentaje en relación al área total de los cuadrantes.

Categoría de Conservación	Unidades	Superficie (ha)	Porcentaje
Iniciativas de Conservación Privadas	59	79777,7 (53,05%)	1,91
Parques Nacionales	3	42226,6 (28,08%)	1,01
Reservas Nacionales	3	21440,2 (14,26%)	0,51
Santuarios de la Naturaleza	2	4674,9 (3,11%)	0,11
Bienes Nacionales Protegidos	1	276,4 (0,18%)	0,01
Monumentos Naturales	2	179,3 (0,12%)	0,00
ICP/otros		1820,7 (1,21%)	0,04
Área total protegida		150395,8	3,59

ICP/otros: área protegida considerada dentro de una Iniciativa de Conservación Privada y alguna otra categoría, debido a que se superponen las cartografías.

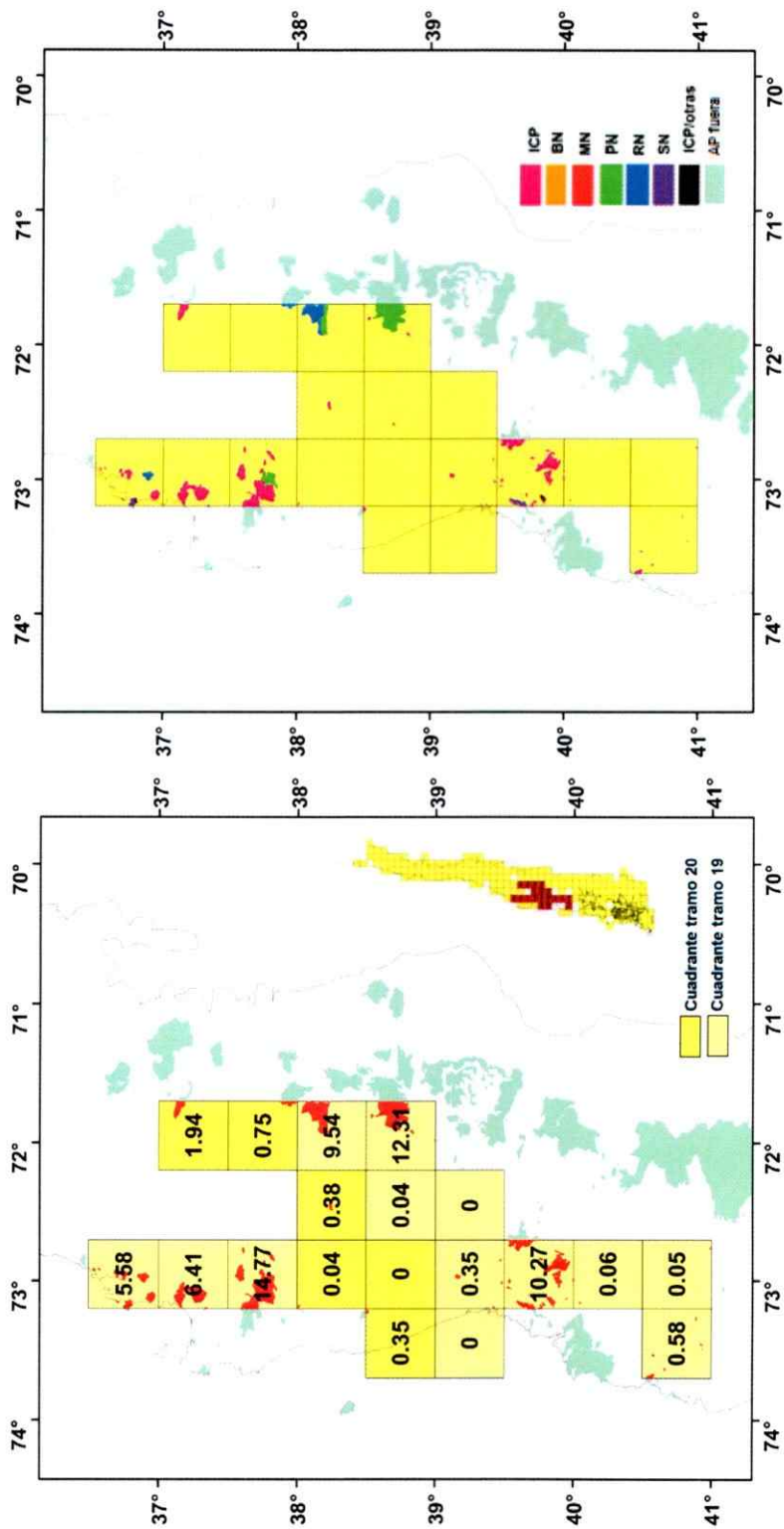


Figura 20. a) Izquierda: Porcentaje de superficie protegida en los cuadrantes de mayor DF. En rojo se resaltan las áreas protegidas dentro de los cuadrantes y en celeste las que están fuera de los cuadrantes. b) Derecha: Las mismas áreas protegidas que a la izquierda separadas según seis categorías. ICP: Iniciativas de Conservación Privadas, BN: Bienes Nacionales Protegidos, MN: Monumentos Naturales, PN: Parques Nacionales, RN: Reservas Nacionales, SN: Santuarios de la Naturaleza, ICP/otras: áreas consideradas dentro de ICP y otras categorías debido a superposición de la cartografía, AP fuera: áreas protegidas fuera del área de los cuadrantes destacados.

Una pregunta que surge es la factibilidad de crear nuevas áreas protegidas en las áreas de mayor DF. En la Figura 21 se muestra el porcentaje de superficie remanente disponible para nuevas iniciativas de conservación por cuadrante (Ecuación 4). Considerando el total de los 19 cuadrantes, el promedio de superficie remanente de bosque es 18,8%. El cuadrante con menos superficie remanente (3,7%) se encuentra entre los 36,5° y 37°S, un poco más al norte de la zona de mayor riqueza y DF, mientras que el cuadrante con más superficie (42,3%) está en el límite sur (entre 40,5° y 41°S). Los cuadrantes más afectados por el uso intensivo del suelo (zonas urbanas, industriales, agrícolas, mineras, plantaciones forestales) se encuentran por sobre los 39°S, en las regiones del Biobío y La Araucanía. En esta misma zona, los cuadrantes cercanos a la Cordillera de Los Andes tienen mayor superficie categorizada como bosque, a excepción del cuadrante 147, donde se encuentra el Parque Nacional Nahuelbuta y varias ICP. Por otro lado, bajo los 39°S disminuye notablemente el área de uso intensivo y se encuentran mayores extensiones de zonas boscosas en todos los cuadrantes.

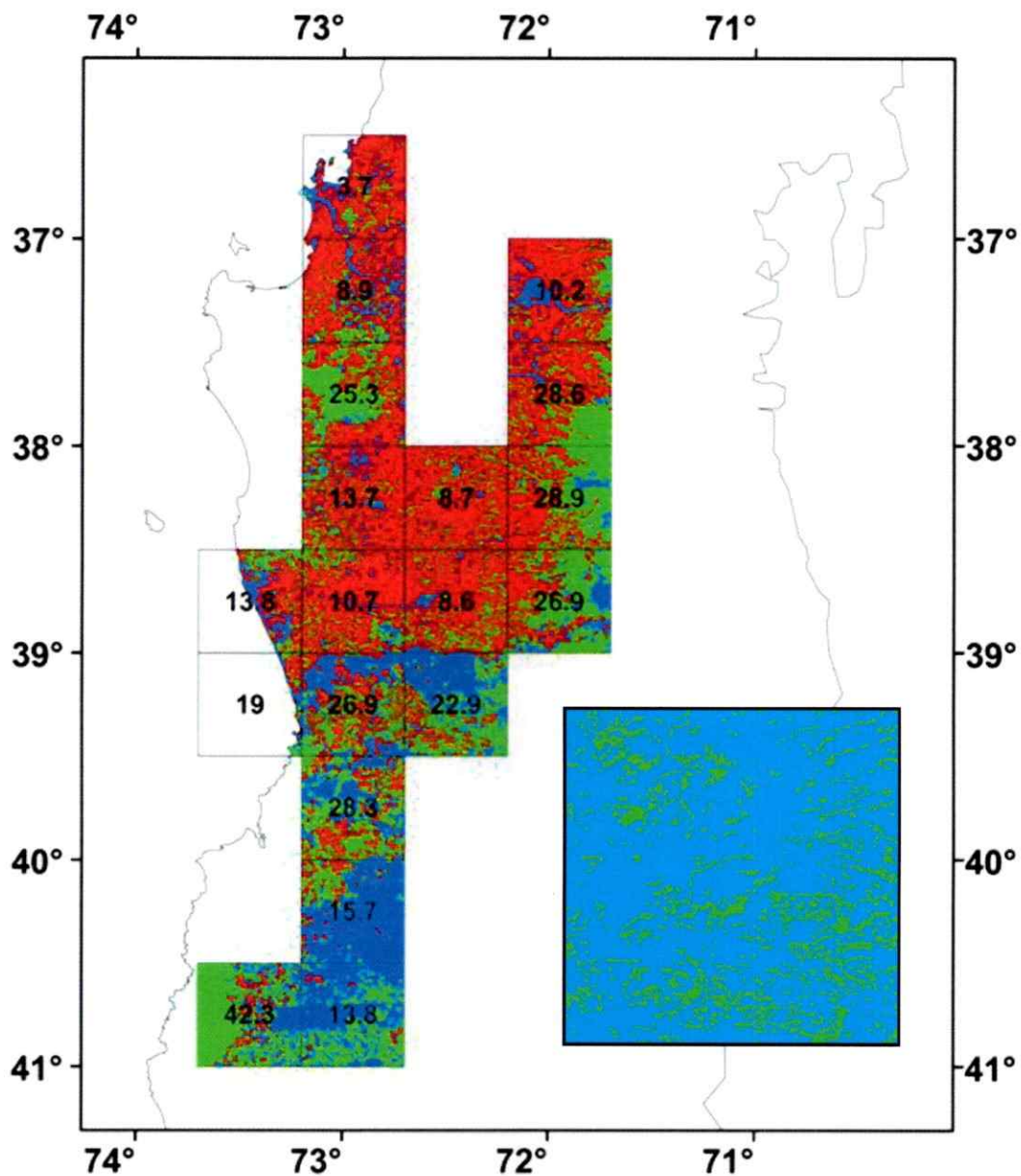


Figura 21. Porcentaje por cuadrante del área de bosque remanente disponible para nuevas iniciativas de conservación. Se muestra en rojo el suelo según uso intensivo (urbanas, industriales, agrícolas, mineras y plantaciones forestales), en verde las categorías de bosque (nativo, mixto, renovales) y en azul el resto de las categorías que incluyen praderas, humedales, áreas sin vegetación, cuerpos de agua y nieves. Se destaca el cuadrante 128, donde se observa el grado de fragmentación de los bosques remanentes (8,6% de bosque disponible para la conservación).

DISCUSIÓN

En este estudio se encontró que la DF de especies y géneros arbóreos del Hotspot chileno se concentra a nivel latitudinal entre los 34° y 41° S, donde se supera el 80% de la DF total en todas las bandas de latitud y que este rango coincide con el máximo de riqueza de géneros y especies (34,5° a 41°S). Villagrán e Hinojosa (1997) identificaron en Chile el máximo de riqueza de especies de árboles y arborescentes entre los 36° y los 40°S, en la interfase de las regiones mediterránea y templada, lo que se repite para arbustos y enredaderas. Esto coincide a grandes rasgos con los resultados obtenidos en este estudio, cuyas diferencias en los límites del rango se deben probablemente a que se trabajó con la distribución potencial de las especies. Por otro lado, los datos de presencia de las especies nativas arbóreas presentes en Chile (N=104) cada un grado de latitud del estudio de Bannister y colaboradores (2011, obtenidos del material suplementario) señalan un máximo de la riqueza de especies (62%) a los 37°S, en la transición de las regiones de clima mediterráneo y templado, donde se registra entre el 41% y 47% de la riqueza por banda entre los 35° y los 42°S.

A una escala más fina, en una grilla de 0,5 x 0,5 grados de latitud por longitud, la DF de géneros y especies arbóreas se concentra principalmente en la Cordillera de la Costa, aunque también en el Valle Central y Cordillera de los Andes, formando una "U", manteniéndose esta distribución para la riqueza. Segovia y colaboradores (2013) midieron la riqueza de especies arbóreas en una grilla de 10 x 10 km en Chile y sus resultados muestran valores máximos aproximadamente entre los 36° y 40°S particularmente en la

Cordillera de la Costa, pero también en el Valle Central y Cordillera de Los Andes generando una evidente forma de "U", lo que coincide en general con los resultados de este estudio.

La ubicación de los cuadrantes de mayor DF y riqueza, se encontraron en general en las zonas descritas como refugios glaciales y por sobre la línea de la máxima extensión de los hielos en el UMG, lo cual es concordante con la importancia de las fluctuaciones climáticas durante el Cuaternario sobre la distribución actual de la riqueza propuesta por Villagrán (1995; 2001). Es interesante la presencia de algunos cuadrantes de máxima DF en la Cordillera de los Andes, ya que podrían haber existido refugios glaciales en esta área y no solo en la Cordillera de la Costa y el Valle Central. Al respecto, estudios de la variación isoenzimática en *Fitzroya cupressoides* señalan que las poblaciones actuales de esta conífera son el resultado de la dispersión de al menos dos refugios ubicados en la costa y laderas de los Andes (Premoli et al. 2000), mientras que la variación genética de *Eucryphia cordifolia* sugiere que algunas poblaciones de esta especie poco tolerante al frío podrían haber sobrevivido durante las glaciaciones en la Cordillera de los Andes en zonas desprovistas de hielo (Segovia et al. 2012). Por otro lado, las variables climáticas actuales también podrían influir en la distribución de la DF, ya que están relacionadas con la distribución de la riqueza. Segovia y colaboradores (2013) señalan que la riqueza de especies arbóreas está correlacionada positivamente con la temperatura en Chile centro-sur, lo que se asocia con la pérdida de riqueza hacia el sur. La relación entre riqueza y precipitaciones es fuerte en Chile centro-norte, lo que se asocia a la pérdida de riqueza hacia el norte. Destacan que también es importante la cobertura de los hielos durante el UMG, aunque esto último está correlacionado con las variables ambientales actuales.

A modo general, existe una fuerte correlación positiva entre la DF y la riqueza, tanto a nivel latitudinal como de cuadrantes, tal como se encontró en estudios anteriores (Rodrigues & Gaston 2002; Pérez-Losada & Crandall 2003; Forest et al. 2008; Safi et al. 2011; Davies & Buckley 2011). Aun así los cuadrantes seleccionados con mayor DF no coinciden de manera exacta con los de mayor riqueza (Fig. 16), encontrándose mayores diferencias a nivel de especies que de géneros, principalmente debido a que los cuadrantes de mayor riqueza tienen una distribución más extensa. Diferencias similares fueron encontradas en un estudio de la DF y riqueza de especies de 311 árboles presentes en 48 estados colindantes en Estados Unidos (Potter 2012). Esta variación no puede simplemente pasarse por alto si el objetivo es fijar prioridades de conservación, pero para la flora arbórea del Hotspot, los cuadrantes de mayor riqueza, exceptuando un cuadrante, incluyen todos los cuadrantes de mayor DF, por lo que se podría considerar que la riqueza es un buen indicador de la DF en este caso. Hay que recalcar que esta relación solo es válida para la flora de estos bosques en particular, que posee pocas especies por géneros y familias, lo que sugiere que no ha habido radiaciones evolutivas recientes. Es posible que se encuentren patrones distintos en regiones donde ha habido radiaciones evolutivas recientes, puesto que hay grupos con muchas especies o géneros por familia. Al respecto, Scherson y colaboradores (2012) evaluaron la correlación entre la DF y la riqueza de géneros de las familias Solanaceae y Fabaceae presentes en el piso altoandino de la Cordillera de los Andes, encontrando una correlación positiva solo en Fabaceae. Debido a lo anterior, no se puede generalizar para todos los grupos y lugares de estudio que la medición de la riqueza señalará las mismas áreas que la DF como prioridad de conservación.

No obstante existe una estrecha relación entre DF y riqueza, se encontraron distintos grados de híper o hipodispersión en relación a la riqueza de especies, como en estudios anteriores (Forest et al. 2008, Davies & Buckley 2011). Es posible que esto se deba a la presencia solo en ciertos sectores de grupos que aporten largos de ramas comparativamente grandes y también del número de especies por género que predominen en la región. El sector norte (sobre los 34°S) del Hotspot muestra una tendencia de hiperdispersión en relación a la riqueza de especies, debido a que a pesar de que hay pocas especies, hay algunas exclusivas del norte, como *Cordia decandra* y *Geoffroea decorticans*, que aportan un gran largo de rama. Además, desde los 31°S hacia el sur se encuentra *Austrocedrus chilensis* como único representante del orden Pinales a esas latitudes. En cambio, el sector sur (al sur de los 41°S) muestra una tendencia de hipodispersión. Es posible que se deba a la ausencia en el sur de representantes del Orden Sapindales (*Schinus*, *Pitavia*, *Lithraea*) y en la mayoría de las bandas ausencia del orden Malphigiales (*Azara*, *Salix*). Junto con eso, domina la presencia de géneros y familias con muchas especies, como *Nothofagus* (10 especies) y Myrtaceae (8), por lo que sus ramas están muy cercanas en el árbol, de tal forma que el aporte de la DF relativo a la riqueza es menor. En todas las bandas dentro del rango de mayor DF (34°-41°s) fue posible encontrar a la mayoría de las familias que estaban exclusivamente representadas por algún elemento fitogeográfico (se encontró Aextoxicaceae, Anacardiaceae, Araliaceae, Cardiopteridaceae, Celastraceae, Cupressaceae, Escalloniaceae, Eucryphiaceae, Nothofagaceae, Rosaceae, Verbenaceae, Winteraceae), lo cual era probable, ya que la riqueza de los géneros arbóreos de los tres elementos fitogeográficos se maximiza cerca de Chile centro-sur (Villagrán & Hinojosa 1997; Segovia et al. 2013).

Los resultados sugieren que los esfuerzos de conservación se debiesen enfocar entre los 34° y 41°S, en el rango donde se maximiza la DF y la riqueza. Un estudio anterior en cangrejos de agua dulce en Chile seleccionó un área entre los 37° y 39°S como prioridad de conservación por su alta DF y riqueza (Pérez-Losada et al. 2002). Se encontró que no existe relación entre la ubicación actual de las áreas protegidas y la distribución de la DF de la flora arbórea, tanto a nivel de bandas latitudinales como de cuadrantes presentes en el Hotspot. A nivel latitudinal, destaca la baja presencia de áreas protegidas en el rango de mayor DF (6,85% entre los 34° y los 41°S) en comparación al Hotspot total (12,8%) o Chile (20%), mientras que la situación empeora si se consideran solo los cuadrantes de mayor DF donde solo el 3,6% está protegido. Esto refleja un importante vacío de protección en Chile centro-sur, donde se concentra la DF y la riqueza, que a pesar de haber sido descrito hace bastante tiempo (Armesto et al. 1992; 1998), no ha habido considerables avances al respecto.

Cabe recordar que en este estudio se trabajó con la distribución potencial de las especies para determinar aquellas zonas de mayor diversidad filogenética, lo que significa que es posible que muchas especies ya no se encuentren efectivamente ahí, debido a la intensa degradación de la superficie original de la zona central del Hotspot de Chile. La información de este estudio es particularmente importante para enfocar los esfuerzos de restauración de los bosques en las zonas de mayor DF de especies arbóreas, que coinciden en tener mayor riqueza. La estabilidad que ofrecen los climas oceánicos de la Cordillera de la Costa en la transición de los macrobioclimas mediterráneo y templado, puede ser relevante en la mantención de la flora y su potencial evolutivo en el futuro en el contexto de variabilidad climática propia de los periodos interglaciales como el actual, por lo que vale la pena el esfuerzo de conservación en esta zona (Villagrán & Armesto 2005).

Es interesante que más del 50% de las áreas protegidas en los cuadrantes de mayor DF correspondan a iniciativas de conservación privadas. A pesar de que no representan una extensa superficie (1,9% del área de los cuadrantes), da cuenta de la necesidad de incorporar en el esquema político nacional el rol de los actores privados interesados en la conservación (ya sea en asesoría, regulación, protección e incentivos) que en conjunto suman 1,65 millones de hectáreas que se reparten en casi todas las regiones de Chile. Además hay que considerar que muchas ICP tienen un tamaño pequeño que no permite la sustentabilidad de la diversidad que resguardan, por lo que es importante mejorar la conectividad entre las áreas protegidas (Mella & Simonetti 1994; Sepúlveda et al. 1997; Simonetti 2004).

La superficie de bosque remanente en los cuadrantes de mayor DF (distribuidos desde la VIII a X región) no supera el 10% en algunos cuadrantes y en promedio alcanza el 18,8%. Estas cifras son desalentadoras si se considera que estos valores fueron calculados en base a registros de hace 16 años. Ya para ese entonces en la VIII región del Biobío y la VII región del Maule se concentraba el 44,3% y 19,5% de las plantaciones forestales respectivamente, mientras que los terrenos agrícolas se concentraban en la VIII y IX región (26,5% y 24,9% respectivamente) (CONAF-CONAMA-BIRF 1997). Considerando que la tasa de deforestación descrita para el bosque maulino fue de un 4% anual (Echeverría et al. 2006), los valores actuales de superficie remanente de bosques deben ser considerablemente menores. Lo anterior indica que las posibilidades de realizar nuevas iniciativas de conservación en los lugares donde se concentra la DF se ven muy limitadas por la falta de superficie disponible, en constante competencia con actividades de uso antrópico y posiciona como urgente la necesidad de emprender medidas de protección rápidas y eficientes. A lo anterior se añade el creciente grado de fragmentación descrita para los

bosques de Chile centro-sur (Grez et al. 2006; Echeverría et al. 2006; Altamirano & Lara 2010) lo que refuerza además la necesidad de preocupación por la conectividad tanto de los bosques remanentes como de las áreas protegidas.

Los estudios anteriores hechos en Chile con la DF o que incorporan las relaciones filogenéticas, se han realizado en otros grupos taxonómicos, como familias de plantas altoandinas (Scherson et al. 2012) y cangrejos de agua dulce Aeglidae (Pérez-Losada et al. 2002). Igualmente sería interesante evaluar otros indicadores que destaquen el valor evolutivo de cada especie, como la "singularidad taxonómica" (Vane Wright et al. 1991) o evaluar las especies con cierta distinción evolutiva que tengan problemas de conservación, como lo hace el programa EDGE con vertebrados (Isaac et al. 2007; Safi et al. 2013). Posadas y colaboradores (2001) realizaron en Chile un estudio en géneros de insectos coleópteros y plantas compuestas, en el cual diseñaron un indicador que considera la distinción taxonómica de las especies y el grado de endemismo. Sin embargo, aún falta mucho por investigar en el tema. Si bien la flora arbórea es un grupo relevante puesto cumple un importante rol en la regulación de los procesos naturales y mantención de los servicios ecosistémicos (Lara et al. 2009, Yang et al. 2007) es relevante explorar los patrones de diversidad filogenética a nivel de toda la flora, ya que la flora arbórea solo representa una pequeña porción de esta. Por ejemplo, al incorporar las herbáceas, que representan más de la mitad de la flora vascular de Chile (Bannister et al. 2011), podría encontrarse una relación distinta entre riqueza y DF, ya que hay géneros con varias especies como por ejemplo *Senecio*, *Adesmia* y *Nolana*. Por último, cabe mencionar que la información que aporta este estudio puede ser de particular importancia en la ubicación de nuevas áreas protegidas, considerando que en Chile actualmente se está desarrollando un

nuevo marco legal para el sistema de áreas protegidas que busca mejorar la representatividad de los diferentes ecosistemas (GEF-SNAP 2008).

CONCLUSIONES

En general, los resultados de este estudio respaldan la hipótesis planteada inicialmente, ya que a nivel latitudinal, la diversidad filogenética (DF) para las especies y géneros de árboles del Hotspot chileno se concentra en el rango latitudinal entre los 34° a 41°S al igual que la riqueza en ambos casos. Junto con lo anterior, a nivel de cuadrantes de menor tamaño, la DF se concentra principalmente en la Cordillera de la Costa, pero también en el Valle Central y parte de la Cordillera de los Andes en Chile central-sur (34°-41°S), lo que coincide a grandes rasgos con la ubicación de las zonas descritas como refugios glaciales.

En cuanto a los objetivos planteados, se concluye que existe una alta correlación entre DF y riqueza en general, por lo que a pesar de ciertas diferencias, la riqueza se puede considerar un buen indicador de la DF para el caso de la flora arbórea nativa. Aun así, el sector norte del Hotspot se encuentra hiperdisperso y el sur hipodisperso en términos relativos a la riqueza de especies. Por otro lado, existe un vacío de protección en las latitudes de mayor DF, pero especialmente a nivel de los cuadrantes de mayor DF, por lo que futuros esfuerzos de conservación en esta zona son urgentes.

BIBLIOGRAFÍA

- AKAIKE H (1974)** A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19: 716-723
- ALTAMIRANO A, A LARA (2010)** Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque* 31: 53-64
- ARAKAKI M, PA CHRISTIN, R NYFFELER, A LENDEL, U EGGLI, RM OGBURN, E SPRIGGS, MJ MOORE, EJ EDWARDS (2011)** Contemporaneous and recent radiations of the world's major succulent plant lineages. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 8379-8384
- ARMESTO JJ, C SMITH-RAMÍREZ, P LEÓN, MTK ARROYO (1992)** Biodiversidad y conservación del bosque templado en Chile. *Ambiente y Desarrollo* 8: 19-24
- ARMESTO JJ, R ROZZI, C SMITH-RAMÍREZ, MTK ARROYO (1998)** Conservation targets in south american temperate forests. *Science* 282: 1271-1272
- ARROYO MTK, LA CAVIERES, A PEÑALOZA, M RIVEROS, AM FAGGI (1996)** Relaciones fitogeográficas y patrones regionales de riqueza de especies en la flora del bosque lluvioso templado de Sudamérica. En: (Armesto JJ, C Villagrán, MTK Arroyo, eds) *Ecología de los bosques nativos de Chile*, pp. 71-99. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- ARROYO MTK, R ROZZI, JA SIMONETTI, P MARQUET, M SALABERRY (1999)** Central Chile. In: (Mittermeier RA, N Myers, P Robles Gil, CG Mittermeier, eds) *Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*, pp. 161-171. Cemex, Conservation International and Agrupación Sierra Madre, Monterrey, México.
- ARROYO MTK, P MARQUET, C MARTICORENA, JA SIMONETTI, L CAVIERES, FA SQUEO, R ROZZI (2004)** Chilean winter rainfall-valdivian forests. In: (Mittermeier RA, P Robles Gil, M Hoffmann, J Pilgrim, T Brooks, CG Mittermeier, J Lamoreux, GAB da Fonseca, eds) *Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*, pp. 99-103. Cemex, Conservation International and Agrupación Sierra Madre, Monterrey, México.
- ARROYO MTK, P MARQUET, C MARTICORENA, JA SIMONETTI, L CAVIERES, FA SQUEO, R ROZZI, F MASSARDO (2006)** El Hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. En: (Saball P, MTK Arroyo, JC Castilla, C Estades, JM Ladrón De Guevara, S Larraín, C Moreno, F Rivas, J Rovira, A Sánchez, L Sierralta, eds) *Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos*, pp. 94-99. CONAMA, Santiago, Chile.
- BANNISTER JR, OJ VIDAL, E TENEB, V SANDOVAL (2011)** Latitudinal patterns and regionalization of plant diversity along a 4270-km gradient in continental Chile. *Austral Ecology* 37: 500-509
Material suplementario en doi:10.1111/j.1442-9993.2011.02312.x
- BARKER GM (2002)** Phylogenetic diversity: a quantitative framework for measurement of priority and achievement in biodiversity conservation. *Biological Journal of the Linnean Society* 76: 165-194
- BARNOSKY AD, N MATZKE, S TOMIYA, GOU WOGAN, B SWARTZ, TB QUENTAL, C MARSHALL, JL MCGUIRE, EL LINDSEY, KC MAGUIRE, B MERSEY, EA FERRER (2011)** Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471: 51-57

- BROOK BW, NS SODHI, CJA BRADSHAW (2008)** Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in ecology & evolution* 23: 453-460
- BROOKS TM, RA MITTERMEIER, GAB DA FONSECA, J GERLACH, M HOFFMANN, JF LAMOREUX, CG MITTERMEIER, JD PILGRIM, ASL RODRIGUES (2006)** Global biodiversity conservation priorities. *Global Biodiversity* 313: 58-61
- BROUGHTON RE, SE STANLEY, RT DURRETT (2000)** Quantification of homoplasy for nucleotide transitions and transversions and a reexamination of assumptions in weighted phylogenetic analysis. *Systematic Biology* 49: 617-627
- CONAF-CONAMA-BIRF (1997)** Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Corporación Nacional Forestal, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile.
- COULSON MR (1987)** In the matter of class intervals for choropleth maps: with particular reference to the work of George F Jenks. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* 24: 16-39
- CRISP MD, MTK ARROYO, LG COOK, MA GANDOLFO, GJ JORDAN, MS MCGLONE, PH WESTON, M WESTOBY, P WILF, HP LINDER (2009)** Phylogenetic biome conservatism on a global scale. *Nature* 458: 754-758
- DARRIBA D, GL TABOADA, R DOALLO, D POSADA (2012)** jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing. *Nature Methods* 9: 772
- DAVIES TJ, SA FRITZ, R GRENYER, CDL ORME, J BIELBY, ORP BININDA-EMONDS, M CARDILLO, KE JONES, JL GITTLEMAN, GM MACE, A PURVIS (2008)** Phylogenetic trees and the future of mammalian biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 11556-11563
- DAVIES TJ, LB BUCKLEY (2011)** Phylogenetic diversity as a window into the evolutionary and biogeographic histories of present-day richness gradients for mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 366: 2414-2425
- DIRZO R, PH RAVEN (2003)** Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 137-167
- DONOSO C (ed) (2006)** Especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cuneo Ediciones, Santiago, Chile.
- EICHEVERRÍA C, D COOMES, J SALAS, JM REY-BENAYAS, A LARA, A NEWTON (2006)** Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological Conservation* 130: 481-494
- FAHRIG L (1997)** Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. *The Journal of Wildlife Management*. 61: 603-610
- FAITH DP (1992a)** Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation* 61: 1-10
- FAITH DP (1992b)** Systematics and conservation: on predicting the feature diversity of subsets of taxa. *Cladistics* 8: 361-373
- FAITH DP (1994)** Phylogenetic pattern and the quantification of organismal biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 345: 45-58
- FAITH DP, ZT RICHARDS (2012)** Climate change impacts on the Tree of Life: Changes in phylogenetic diversity illustrated for *Acropora* corals. *Biology* 1: 906-932
- FILATOV DA (2002)** Proseq: A software for preparation and evolutionary analysis of DNA sequence data sets. *Molecular Ecology Notes* 2: 621-624

- FOREST F, R GRENYER, M ROUGET, TJ DAVIES, RM COWLING, DP FAITH, A BALMFORD, JC MANNING, S PROCHES, M VAN DER BANK, G REEVES, TAJ HEDDERSON, V SAVOLAINEN (2007)** Preserving the evolutionary potential of floras in biodiversity hotspots. *Nature* 445: 757-760
- GARDNER RC (1976)** Evolution and adaptive radiation in *Lipochaeta* (Compositae) of the Hawaiian Islands. *Systematic Botany* 1: 383-391
- GEF-SNAP (2008)** Proyecto "Creación de un sistema nacional integral de áreas protegidas para Chile: una estructura financiera y operativa".
<http://www.proyectogefareasprotegidas.cl/documentos/documentos-del-proyecto/>
- GREZ AA, JA SIMONETTI, RO BUSTAMANTE (2006)** Biodiversidad en ambientes fragmentados de Chile: patrones y procesos a diferentes escalas. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- GUERRERO P, M ROSAS, MTK ARROYO, JJ WIENS (2013)** Evolutionary lag times and recent origin of the biota of an ancient desert (Atacama-Sechura). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 11469-11474
- HALL TA (1999)** BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series* 41: 95-98
- HELENURM K, FR GANDERS (1985)** Adaptive radiation and genetic differentiation in Hawaiian *Bidens*. *Evolution* 39: 753-765
- HEY J (2001)** The mind of the species problem. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 326-329
- HILLIS DM, JJ BULL (1993)** An empirical test of bootstrapping as a method for assessing confidence in phylogenetic analysis. *Systematic Biology* 42: 182-192
- HINOJOSA LF, C VILLAGRÁN (1997)** Historia de los bosques del sur de Sudamérica, I: antecedentes paleobotánicos, geológicos y climáticos del Terciario del cono sur de América. *Revista de Historia Natural* 70: 225-239
- HOLLIN JT, DH SCHILLING (1981)** Late Wisconsin-Weichselian mountain glaciers and small ice caps. In: (Denton GH, TJ Hughes, eds) *The last great ice sheets*, pp. 179-206. Wiley, New York.
- HUANG S, PR STEPHENS, JL GITTLEMAN (2012)** Traits, trees and taxa: global dimensions of biodiversity in mammals. *Proceedings of the Royal Society B* 279: 4997-5003
- HUMPHRIES CJ (1976)** Evolution and endemism in *Argyranthemum* Webb ex Schultz Bip. (Compositae: Anthemideae). *Botanica macaronesica* 1: 25-50
- ISAAC NJB, ST TURVEY, B COLLEN, C WATERMAN, JEM BAILLIE (2007)** Mammals on the EDGE: Conservation priorities based on threat and phylogeny. *PLoS ONE* 2: e296
- JAN BEN (2006)** DNeasy Plant Mini Kit and DNeasy Plant Maxi Kit. Handbook for DNA isolation from plant tissue.
- JARA-ARANCIO P, MTK ARROYO, PC GUERRERO, LF HINOJOSA, G ARANCIO, MA MÉNDEZ (2013)** Phylogenetic perspectives on biome shifts in *Leucocoryne* (Alliaceae) in relation to climatic niche evolution in western South America. *Journal of Biogeography*: doi: 10.1111/jbi.12186
- KERR JT (1997)** Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation. *Conservation Biology* 11: 1094-1100
- KLAK C, G REEVES, T HEDDERSON (2004)** Unmatched tempo of evolution in Southern African semi-desert ice plants. *Nature* 427: 63-65

- LAFFAN SW, E LUBARSKY, DF ROSAUER (2008)** Biodiverse, a spatial analysis tool to analyse species (and other) diversity. School of Biology, Earth and Environmental Sciences, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- LARA A, C LITTLE, R URRUTIA, J MCPHEE, C ALVAREZ-GARRETON, C OYARZUN, D SOTO, P DONOSO, L NAHUELHUAL, M PINO, I ARISMENDI (2009)** Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management* 258: 415-424
- LARSEN FW, WR TURNER, TM BROOKS (2012)** Conserving critical sites for biodiversity provides disproportionate benefits to people. *PLoS One* 7: e36971
- LUEBERT F, P BECERRA (1998)** Representatividad vegetal del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en Chile. *Ambiente y Desarrollo* 14: 62-69
- LUEBERT F, P PLISCOFF (2006)** Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- MAY RM (1990)** Taxonomy as destiny. *Nature* 347: 129-130
- MELLA J, J SIMONETTI (1994)** Representación y poblaciones viables: Conservación de mamíferos en las áreas silvestres protegidas de Chile. *Ambiente y Desarrollo* 3: 72-78
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005)** Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- MITCHELL AD, PB HEENAN (2002)** *Sophora* sect. *Edwardsia* (Fabaceae): further evidence from nrDNA sequence data of a recent and rapid radiation around the southern oceans. *Botanical Journal of the Linnean Society* 140: 435-441
- MITTERMEIER RA, PR GIL, M HOFFMAN, J PILGRIM, T BROOKS, CG MITTERMEIER, J LAMOREUX, GAB DA FONSECA (2004)** Hotspots Revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. Cemex, Conservation International and Agrupación Sierra Madre, Monterrey, México.
- MYERS N, RA MITTERMEIER, CG MITTERMEIER, GAB DA FONSECA, J KENT (2000)** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858
- OLMSTEAD R, HJ MICHAELS, KM SCOTT, JD PALMER (1992)** Monophyly of the Asteridae and identification of their major lineages inferred from DNA sequences of rbcL. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 79: 249-265
- OLSON D, E DINERSTEIN, ED WIKRAMANAYAKE, ND BURGESS, GVN POWELL, EC UNDERWOOD, JA D'AMICO, I ITOUA, HE STRAND, JC MORRISON, CJ LOUKCS, TF ALLNUTT, TH RICKETTS, Y KURA, JF LAMOREUX, WW WETTENGEL, P HEDAO Y KR KASSEM (2001)** Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on earth. *BioScience* 51: 933-938
- PAULL R, RS HILL (2010)** Early Oligocene *Callistris* and *Fitzroya* (Cupressaceae) from Tasmania. *American Journal of Botany* 97: 809-820
- PÉREZ-LOSADA M, CG JARA, G BOND-BUCKUP, KA CRANDALL (2002)** Conservation phylogenetics of Chilean freshwater crabs *Aegla* (Anomura, Aeglididae): assigning priorities for aquatic habitat protection. *Biological Conservation* 105: 345-353
- PÉREZ-LOSADA M, KA CRANDALL (2003)** Can taxonomic richness be used as a surrogate for phylogenetic distinctness indices for ranking areas for conservation? *Animal Biodiversity and Conservation* 26.1: 77-84

- PLISCOFF P (2002)** Priorización de áreas para fortalecer la conservación de la flora arbórea nativa en la flora mediterránea de Chile. Tesis de Magíster en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- PLISCOFF P, T FUENTES-CASTILLO (2011)** Representativeness of terrestrial ecosystems in Chile's protected area system. *Environmental Conservation* 38: 303-311
- POSADAS P, DR MIRANDA ESQUIVEL, JV CRISCI (2001)** Using phylogenetic diversity measures to set priorities in conservation: an example from southern South America. *Conservation Biology* 15: 1325-1334
- POTTER KM (2012)** Evolutionary diversity and phylogenetic community structure of forest trees across the conterminous United States. In: (Potter KM, B Conkling, eds) Forest health monitoring: 2008 national technical report, pp. 21-38. Department of Agriculture Forest Service, Southern Reserve Station.
- PREMOLI AC, T KITZBERGER, TT VELEN (2000)** Isozyme variation and recent biogeographical history of the long-lived conifer *Fitzroya cupressoides*. *Journal of Biogeography* 27: 251-260
- RODRIGUES ASL, KJ GASTON (2002)** Maximising phylogenetic diversity in the selection of networks of conservation areas. *Biological Conservation* 105: 103-111
- RODRÍGUEZ R, O MATTHEI, M QUEZADA (1983)** Flora arbórea de Chile. Editorial Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- RONQUIST F, JP HUELSENBECK (2003)** Mr Bayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19: 1572-1574
- SAFI K, MV CIANCIARUSO, RD LOYOLA, D BRITO, K ARMOUR-MARSHALL, JAF DINIZ-FILHO (2011)** Understanding global patterns of mammalian functional and phylogenetic diversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 366: 2536-2544
- SAFI K, K ARMOUR-MARSHALL, JEM BAILLIE, NJB ISAAC (2013)** Global patterns of evolutionary distinct and globally endangered amphibians and mammals. *PLoS ONE* 8: e63582
- SCHERSON RA, PI NAULIN, AA ALBORNOZ, T HAGEMANN, MTK ARROYO (2012)** Variability in phylogenetic diversity (PD) estimates illustrated with plant data for the high Andes of South America. *New Zealand Journal of Botany* 50: 257-265
- SCHMITHÜSEN (1956)** Die raumliche Ordnung der chilenischen Vegetation, *Bonner Geographische Abhandlungen* 17: 1-86
- SCOTT JM, F DAVIS, B CSUTI, R NOSS, B BUTTERFIELD, C GROVES, H ANDERSON, S CAICCO, F D'ERCHIA, TC EDWARDS, JRJ ULLIMAN, RG WRIGHT (1993)** Gap Analysis: A geographic approach to protection of biological diversity. *Wildlife Monographs* 123: 1-41
- SCOTT J, YR CSUTI (1997)** Gap analysis for biodiversity survey and maintenance. In: (Reaka-Kudla ML, DE Wilson, EO Wilson, eds) *Biodiversity II: Understanding and protecting our biological resources*, pp. 321-340. Joseph Henry Press. Washington, D.C.
- SEGOVIA RA, MF PÉREZ, LF HINOJOSA (2012)** Genetic evidence for glacial refugia of the temperate tree *Eucryphia cordifolia* (Cunoniaceae) in southern South America. *American Journal of Botany* 99: 121-129
- SEGOVIA RA, LF HINOJOSA, MF PÉREZ, BA HAWKINS (2013)** Biogeographic anomalies in the species richness of Chilean forests: Incorporating evolution into a climatic-historic scenario. *Austral Ecology* doi: 10.1111/aec.12030
- SEPÚLVEDA C, A MOREIRA, P VILLAROEL (1997)** Conservación biológica fuera de las áreas protegidas. *Ambiente y Desarrollo* 2: 48-58

- SIERRALTA L, R SERRANO, J ROVIRA, C CORTES (eds) (2011)** Las áreas protegidas de Chile. Antecedentes, institucionalidad, estadísticas y desafíos. División de Recursos Naturales Renovables y Biodiversidad, Ministerio del Medio Ambiente.
- SIMONETTI J (2004)** Conectar para conservar. *Ambiente y desarrollo* 20: 2-4
- STEVENS PF (2001 en adelante)** Angiosperm Phylogeny Website. Version 12, July 2012. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
- SWOFFORD DL (2003)** PAUP*: Phylogenetic analysis using parsimony [* and other methods]. Version 4. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- TAMURA K, D PETERSON, N PETERSON, G STECHER, M NEI, S KUMAR (2011)** MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution* 28: 2731-2739
- VANE-WRIGHT RI, CJ HUMPHRIES, PH WILLIAMS (1991)** What to protect? Systematics and the agony of choice. *Biological Conservation* 55: 235-254
- VARGAS P (2007)** Are macaronesian islands refugia of relict plant lineages?: a molecular survey. In:(Weiss S, N Ferrand, eds) *Phylogeography of southern european refugia*, pp. 297-314. Springer, Dordrecht, Holanda.
- VILLAGRÁN C (1991)** Historia de los bosques templados del sur de Chile durante el Tardiglacial y Postglacial. *Revista de Historia Natural* 64: 447-460
- VILLAGRÁN C (1995)** Quaternary history of the mediterranean vegetation of Chile. In:(Arroyo MTK, P Zedler, M Fox, eds) *Ecology and biogeography of mediterranean ecosystems in Chile, California and Australia*, pp. 3-20. Springer-Verlag, New York.
- VILLAGRÁN C (2001)** Un modelo de la historia de la vegetación de la cordillera de la Costa de Chile central-sur: la hipótesis glacial de Darwin. *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 793-803
- VILLAGRÁN C, LF HINOJOSA (1997)** Historia de los bosques del sur de Sudamérica, II: Análisis fitogeográfico. *Revista de Historia Natural* 70: 241-267
- VILLAGRÁN C, J ARMESTO (2005)** Fitogeografía histórica de la Cordillera de la Costa de Chile. En: (Ramírez CS, JJ Armesto, C Valdovinos, eds) *Historia, biodiversidad y ecología de los bosques costeros de Chile*, pp. 99-116. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.
- YANG YS, GS CHEN, JF GUO, JS XIE, XG WANG (2007)** Soil respiration and carbon balance in a subtropical native forest and two managed plantations. *Plant Ecology* 193: 71-84
- ZULOAGA FO, O MORRONE, MJ BELGRANO (2008)** Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Missouri Botanical Garden Press. Saint Louis.

ANEXOS

Anexo 1.

Tabla 1. Clasificación de los 63 géneros arbóreos presentes en Chile según los elementos fitogeográficos (Villagrán & Hinojosa 1997).

Elemento fitogeográfico	Géneros arbóreos en Hotspot de Chile continental
Australasiano Austral-antártico	<i>Araucaria, Aristotelia, Caldcluvia, Citronella, Eucryphia, Gevuina, Laurelia, Lomatia, Nothofagus, Persea, Prumnopitys, Raukaua, Sophora, Weinmannia</i>
Neotropical	<i>Azara, Blepharocalix, Browningia, Crinodendron, Dasyphyllum, Drimys, Escallonia, Geoffroea, Haplorhus, Kageneckia, Lithraea, Myrceugenia, Polylepis, Porlieria, Quillaja, Rhaphithamnus, Schinus, Trichocereus</i>
Endémico	<i>Aextoxicon, Amomyrtus, Austrocedrus, Corynabutilon, Embothrium, Fitzroya, Gomortega, Jubaea, Latua, Laureliopsis, Legrandia, Luma, Peumus, Pilgerodendron, Pitavia, Saxegothaea, Trevoa</i>
Pantropical	<i>Acacia, Beilschmiedia, Buddleja, Caesalpinia, Cryptocarya, Maytenus, Morella, Otholobium, Podocarpus, Pouteria, Prosopis</i>
Amplio	<i>Cordia, Salix, Senecio</i>

Anexo 2

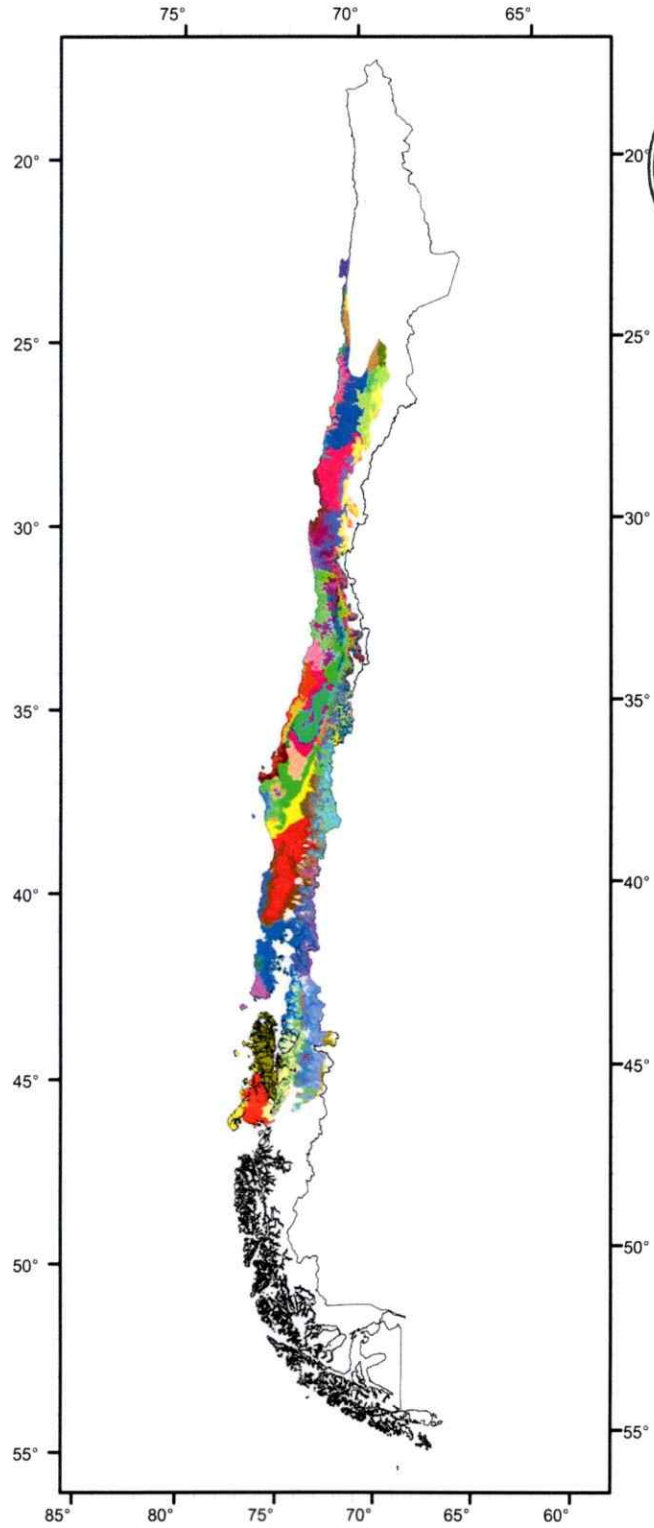
Tabla 1. Listado de las especies arbóreas incluidas en el estudio. Nomenclatura y pertenencia a familias según el "Catálogo de las plantas vasculares del Conosur" (Zuloaga et al. 2008).

Nombre	Familia
1. <i>Acacia caven</i> (Molina) Molina	Fabaceae
2. <i>Aextoxicon punctatum</i> Ruiz & Pav.	Aextoxiceae
3. <i>Amomyrtus luma</i> (Molina) D.Legrand & Kausel	Myrtaceae
4. <i>Amomyrtus meli</i> (Phil) D. Legrand & Kausel	Myrtaceae
5. <i>Araucaria araucana</i> (Molina) K.Koch	Araucariaceae
6. <i>Aristotelia chilensis</i> (Molina) Stuntz	Elaeocarpaceae
7. <i>Austrocedrus chilensis</i> (D.Don) Pic.Serm. & Bizzarri	Cupressaceae
8. <i>Azara integrifolia</i> Ruiz & Pav.	Salicaceae
9. <i>Azara petiolaris</i> (D.Don) I.M.Johnst.	Salicaceae
10. <i>Beilschmiedia berteroaana</i> (Gay) Kosterm.	Lauraceae
11. <i>Beilschmiedia miersii</i> (Gay) Kosterm.	Lauraceae
12. <i>Blepharocalyx cruckshanksii</i> (Hook. & Arn.) Nied.	Myrtaceae
13. <i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	Fabaceae
14. <i>Caldcluvia paniculata</i> (Cav.) D.Don	Cunoniaceae
15. <i>Citronella mucronata</i> (Ruiz & Pav.) D.Don	Cardiopteridaceae
16. <i>Cordia decandra</i> (Hook. & Arn.)	Boraginaceae
17. <i>Corynabutilon vitifolium</i> (Cav.) Kearney	Malvaceae
18. <i>Crinodendron hookerianum</i> Gay	Elaeocarpaceae
19. <i>Crinodendron patagua</i> Molina	Elaeocarpaceae
20. <i>Cryptocarya alba</i> (Molina) Looser	Lauraceae
21. <i>Dasyphyllum diacanthoides</i> (Less.) Cabrera	Asteraceae
22. <i>Dasyphyllum excelsum</i> (D.Don) Cabrera	Asteraceae
23. <i>Drimys winteri</i> J.R. Forst. & G. Forst.	Winteraceae
24. <i>Embothrium coccineum</i> J.R.Forst. & G.Forst.	Proteaceae
25. <i>Escallonia pulverulenta</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Escalloniaceae
26. <i>Escallonia revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Escalloniaceae
27. <i>Eucryphia cordifolia</i> Cav.	Eucryphiaceae
28. <i>Eucryphia glutinosa</i> (Poepp. & Endl.) Baill.	Eucryphiaceae
29. <i>Fitzroya cupressoides</i> (Molina) I.M. Johnst	Cupressaceae
30. <i>Geoffroea decorticans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart	Fabaceae
31. <i>Gevuina avellana</i> Molina	Proteaceae
32. <i>Gomortega keule</i> (Molina) Baill.	Gomortegaceae
33. <i>Jubaea chilensis</i> (Molina) Baill.	Arecaceae
34. <i>Kageneckia angustifolia</i> D.Don	Rosaceae
35. <i>Kageneckia oblonga</i> Ruiz & Pav.	Rosaceae
36. <i>Laurelia sempervirens</i> (Ruiz & Pav.) Tul.	Monimiaceae
37. <i>Laureliopsis philippiana</i> (Looser) Schodde	Monimiaceae

38. <i>Legrandia concinna</i> (Phil.) Kausel	Myrtaceae
39. <i>Lithraea caustica</i> (Molina) Hook. & Arn.	Anacardiaceae
40. <i>Lomatia dentata</i> (Ruiz & Pav.) R. Br.	Proteaceae
41. <i>Lomatia ferruginea</i> (Cav.) R. Br.	Proteaceae
42. <i>Lomatia hirsuta</i> (Lam.) Diels	Proteaceae
43. <i>Luma apiculata</i> (DC.) Burret	Myrtaceae
44. <i>Maytenus boaria</i> Molina	Celastraceae
45. <i>Maytenus magellanica</i> (Lam.) Hook. f.	Celastraceae
46. <i>Myrceugenia exsucca</i> (DC.) O. Berg	Myrtaceae
47. <i>Myrceugenia obtusa</i> (DC.) O. Berg	Myrtaceae
48. <i>Myrceugenia planipes</i> (Hook. & Arn.) O. Berg	Myrtaceae
49. <i>Nothofagus alessandrii</i> Espinosa	Nothofagaceae
50. <i>Nothofagus alpina</i> (Poepp. & Endl.) Oerst.	Nothofagaceae
51. <i>Nothofagus antarctica</i> (G.Forst.) Oerst.	Nothofagaceae
52. <i>Nothofagus betuloides</i> (Mirb.) Oerst.	Nothofagaceae
53. <i>Nothofagus dombeyi</i> (Mirb.) Oerst.	Nothofagaceae
54. <i>Nothofagus glauca</i> (Phil.) Krasser	Nothofagaceae
55. <i>Nothofagus macrocarpa</i> (A. DC.) F.M. Vásquez & R. Rodr.	Nothofagaceae
56. <i>Nothofagus nitida</i> (Phil.) Krasser	Nothofagaceae
57. <i>Nothofagus obliqua</i> (Mirb.) Oerst.	Nothofagaceae
58. <i>Nothofagus pumilio</i> (Poepp. & Endl.) Krasser	Nothofagaceae
59. <i>Otholobium glandulosum</i> (L.) J. W. Grimes	Fabaceae
60. <i>Persea lingue</i> Nees	Lauraceae
61. <i>Peumus boldus</i> Molina	Monimiaceae
62. <i>Pilgerodendron uviferum</i> (D. Don) Florin	Cupressaceae
63. <i>Pitavia punctata</i> (Ruiz & Pav.) Molina	Rutaceae
64. <i>Podocarpus nubigenus</i> Lindl.	Podocarpaceae
65. <i>Podocarpus salignus</i> D. Don	Podocarpaceae
66. <i>Prosopis alba</i> Griseb.	Fabaceae
67. <i>Prosopis chilensis</i> (Molina) Stuntz emend. Burkart	Fabaceae
68. <i>Prumnopitys andina</i> (Poepp. ex Endl.) de Laub.	Podocarpaceae
69. <i>Quillaja saponaria</i> Molina	Quillajaceae
70. <i>Raukaua laetevirens</i> (Gay) Frodin	Araliaceae
71. <i>Rhaphithamnus spinosus</i> (Juss.) Moldenke	Verbenaceae
72. <i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Salicaceae
73. <i>Saxegothaea conspicua</i> Lindl.	Podocarpaceae
74. <i>Schinus latifolius</i> (Gillies ex Lindl.) Engl.	Anacardiaceae
75. <i>Schinus molle</i> L.	Anacardiaceae
76. <i>Schinus polygamus</i> (Cav.) Cabrera	Anacardiaceae
77. <i>Sophora cassioides</i> (Phil.) Sparre	Fabaceae
78. <i>Weinmannia trichosperma</i> Cav.	Cunoniaceae

Anexo 3.

Figura 1. Pisos vegetacionales según Luebert y Pliscoff (2008) presentes en el Hotspot de Biodiversidad de Chile



PISO

-  Bosque caducifolio mediterráneo andino de *Nothofagus glauca* y *N. obliqua*
-  Bosque caducifolio mediterráneo andino de *Nothofagus obliqua* y *Austrocedrus chilensis*
-  Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus glauca* y *Azara petiolaris*
-  Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus glauca* y *Persea lingue*
-  Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus macrocarpa* y *Ribes punctatum*
-  Bosque caducifolio mediterráneo interior de *Nothofagus obliqua* y *Cryptocarya alba*
-  Bosque caducifolio mediterráneo-templado andino de *Nothofagus alpina* y *N. obliqua*
-  Bosque caducifolio mediterráneo-templado andino de *Nothofagus pumilio* y *N. obliqua*
-  Bosque caducifolio mediterráneo-templado costero de *Nothofagus obliqua* y *Gomortega keule*
-  Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus alpina* y *Dasyphyllum diacanthoides*
-  Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus alpina* y *N. dombeyi*
-  Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* y *Araucaria araucana*
-  Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* y *Azara alpina*
-  Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* y *Berberis ilicifolia*
-  Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* y *Drimys andina*
-  Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* y *Ribes cucullatum*
-  Bosque caducifolio templado costero de *Nothofagus alpina* y *Persea lingue*
-  Bosque caducifolio templado de *Nothofagus obliqua* y *Laurelia sempervirens*
-  Bosque caducifolio templado de *Nothofagus obliqua* y *Persea lingue*
-  Bosque esclerofilo mediterráneo andino de *Kageneckia angustifolia* y *Guindilia trinervis*
-  Bosque esclerofilo mediterráneo andino de *Lithrea caustica* y *Lomatia hirsuta*
-  Bosque esclerofilo mediterráneo andino de *Quillaja saponaria* y *Lithrea caustica*
-  Bosque esclerofilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* y *Peumus boldus*
-  Bosque esclerofilo mediterráneo costero de *Lithrea caustica* y *Azara integrifolia*
-  Bosque esclerofilo mediterráneo costero de *Lithrea caustica* y *Cryptocarya alba*
-  Bosque esclerofilo mediterráneo interior de *Lithrea caustica* y *Peumus boldus*
-  Bosque esclerofilo psamófilo mediterráneo interior de *Quillaja saponaria* y *Fabiana imbricata*
-  Bosque espinoso de mediterráneo andino *Acacia caven* y *Baccharis paniculata*
-  Bosque espinoso mediterráneo costero de *Acacia caven* y *Maytenus boaria*
-  Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Lithrea caustica*
-  Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Prosopis chilensis*
-  Bosque laurifolio templado costero de *Aextoxicon punctatum* y *Laurelia sempervirens*
-  Bosque laurifolio templado costero de *Weinmannia trichosperma* y *Laureliopsis philippiana*
-  Bosque laurifolio templado interior de *Nothofagus dombeyi* y *Eucryphia cordifolia*
-  Bosque mixto templado costero de *Nothofagus dombeyi* y *N. obliqua*
-  Bosque resinoso templado andino de *Araucaria araucana* y *Festuca scabriuscula*
-  Bosque resinoso templado andino de *Araucaria araucana* y *Nothofagus dombeyi*
-  Bosque resinoso templado andino de *Austrocedrus chilensis* y *Nothofagus dombeyi*
-  Bosque resinoso templado andino de *Fitzroya cupressoides*
-  Bosque resinoso templado costero de *Araucaria araucana*
-  Bosque resinoso templado costero de *Fitzroya cupressoides*
-  Bosque resinoso templado costero de *Pilgerodendron uvifera* y *Astelia pumila*
-  Bosque resinoso templado costero de *Pilgerodendron uvifera* y *Tepualia stipularis*
-  Bosque siempreverde mixto templado andino de *Nothofagus betuloides* y *Berberis serrato-der*
-  Bosque siempreverde templado andino de *Nothofagus betuloides* y *Chusquea macrostachya*
-  Bosque siempreverde templado andino de *Nothofagus betuloides* y *Laureliopsis philippiana*
-  Bosque siempreverde templado andino de *Nothofagus dombeyi* y *Gaultheria phillyreifolia*

- Bosque siempreverde templado andino de *Nothofagus dombeyi* y *Saxegothaea conspicua*
- Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus betuloides* y *Desfontainia spinosa*
- Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus nitida* y *Podocarpus nubigena*
- Desierto tropical interior con vegetación escasa
- Estepa mediterránea-templada de *Festuca pallescens* y *Mulinum spinosum*
- Herbazal mediterráneo andino de *O. adenophylla* y *Pozoa coriacea*
- Herbazal mediterráneo de *Nastanthus spathulatus* y *Menonvillea spathulata*
- Herbazal templado andino de *Nassauvia dentata* y *Senecio portalesianus*
- Herbazal tropical andino de *Chaetanthera sphaeroidalis*
- Matorral arborescente caducifolio templado de *Nothofagus antarctica* y *Berberis microphylla*
- Matorral arborescente esclerofilo mediterráneo costero de *Peumus boldus* y *Schinus latifolius*
- Matorral arborescente esclerofilo mediterráneo interior *Quillaja saponaria* y *Porlieria chilensis*
- Matorral bajo desértico mediterráneo andino de *Senecio proteus* y *Haplopappus baylahuen*
- Matorral bajo desértico tropical interior de *Adesmia atacamensis* y *Cistanthe salsoloides*
- Matorral bajo desértico tropical interior de *Nolana leptophylla* y *Cistanthe salsoloides*
- Matorral bajo desértico tropical-mediterráneo andino de *Atriplex imbricata*
- Matorral bajo emplado andino de *Adesmia longipes* y *Senecio bipontini*
- Matorral bajo mediterráneo andino de *Chuquiraga oppositifolia* y *Discaria articulata*
- Matorral bajo mediterráneo andino de *Chuquiraga oppositifolia* y *Nardophyllum lanatum*
- Matorral bajo mediterráneo andino de *Laretia acaulis* y *Berberis empetrifolia*
- Matorral bajo mediterráneo costero de *Chuquiraga oppositifolia* y *Mulinum spinosum*
- Matorral bajo templado andino de *Discaria chacaye* y *Berberis empetrifolia*
- Matorral bajo tropical andino de *Adesmia frigida* y *Stipa frigida*
- Matorral bajo tropical andino de *Mulinum crassifolium* y *Urbania pappigera*
- Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de *Adesmia hystrix* y *Ephedra breana*
- Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de *Adesmia subterranea* y *Adesmia echinus*
- Matorral caducifolio templado andino de *Nothofagus antarctica*
- Matorral caducifolio templado andino de *Nothofagus antarctica* y *Empetrum rubrum*
- Matorral desértico mediterráneo costero *Copiapoa boliviana* y *Heliotropium pycnophyllum*
- Matorral desértico mediterráneo costero de *Bahia ambrosioides* y *Puya chilensis*
- Matorral desértico mediterráneo costero de *Euphorbia lactiflua* y *Eulychnia iquiquensis*
- Matorral desértico mediterráneo costero de *Euphorbia lactiflua* y *Eulychnia saint-pieana*
- Matorral desértico mediterráneo costero de *Gypothamnium pinifolium* y *Heliotropium pycnophyllum*
- Matorral desértico mediterráneo costero de *Heliotropium eremogenum* y *Eulychnia morromorenoensis*
- Matorral desértico mediterráneo costero de *Heliotropium floridum* y *Atriplex divicoia*
- Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis gigantea* y *Eulychnia breviflora*
- Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis gigantea* y *Heliotropium stenophyllum*
- Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argentea* y *Bulnesia chilensis*
- Matorral desértico mediterráneo interior de *Flourensia thurifera* y *Colliguaja odorifera*
- Matorral desértico mediterráneo interior de *Heliotropium stenophyllum* y *Flourensia thurifera*
- Matorral desértico mediterráneo interior de *Oxyphyllum ulicinum* y *Gymnophyton foliosum*
- Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus* y *Atriplex deserticola*
- Matorral desértico tropical costero de *Ephedra breana* y *Eulychnia iquiquensis*
- Matorral desértico tropical costero de *Nolana adansonii* y *N. lycioides*
- Matorral desértico tropical interior de *Huidobria chilensis* y *Nolana leptophylla*
- Matorral espinoso mediterráneo interior de *Puya coerulea* y *Colliguaja odorifera*
- Matorral espinoso mediterráneo interior de *Trevoa quinquinervia* y *Colliguaja odorifera*
- Matorral siempreverde templado costero de *Pilgerodendron uvifera* y *Nothofagus nitida*
- Turbera templada costera de *Donatia fascicularis* y *Oreobolus obtusangulus*

Anexo 4

Tabla 1. Individuos recolectados para la reconstrucción de las filogenias. Se señala el nombre de la especie¹, el recolector², la localidad de recolección de las muestras ³, la fecha, las coordenadas geográficas y la altura en el caso de ser proporcionada por el recolector.

Especie	Recolector	Localidad de recolección	Fecha	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
<i>Acacia caven</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Acacia caven</i> *	CPC	R. N. Río Clarillo	05-12-2011	33° 43' 55" S	70° 27' 15" W	1000
<i>Aextoxicon punctatum</i> *	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Amomyrtus luma</i>	CPC	Parque Katalapi	15-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Amomyrtus luma</i> *	CPC	Parque Katalapi	18-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Amomyrtus meli</i> *	CPC	Parque Katalapi	18-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Amomyrtus meli</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Araucaria araucana</i> *	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Aristotelia chilensis</i> *	CPC	Camino a Farellones	26-10-2011	33° 21' 55" S	70° 23' 35" W	1206
<i>Aristotelia chilensis</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Austrocedrus chilensis</i>	CPC	Arboreto UACH	11-11-2011	39° 48' 10" S	73° 15' 14" W	8
<i>Austrocedrus chilensis</i> *	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Azara integrifolia</i> *	MTK	J. B. UACH	20-09-1999	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Azara petiolaris</i> *	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Azara petiolaris</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Beilschmiedia berteriana</i> *	CPC	Arboreto UACH	11-11-2011	39° 48' 10" S	73° 15' 14" W	8
<i>Beilschmiedia miersii</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Beilschmiedia miersii</i> *	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Blepharocalyx cruckshankii</i> *	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Caesalpinia spinosa</i> *	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71

<i>Caesalpinia spinosa</i>	CPC	Jardín Mapulemu	09-12-2011	33° 25' 32" S	70° 37' 59" W	770
<i>Caldcluvia paniculata</i>	MB	P.N. Queulat	02-2009	44° 32' 51" S	72° 28' 45" S	20
<i>Caldcluvia paniculata*</i>	MB	EBSD	02-2009	41° 50' 19" S	73° 33' 28,5" S	57
<i>Citronella mucronata*</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Citronella mucronata</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Cordia decandra*</i>	CPC	Camino a Huasco	15-10-2011	28° 30' 46" S	71° 09' 55" W	140
<i>Cordia decandra</i>	CPC	Camino a Huasco	15-10-2011	28° 30' 46" S	71° 09' 55" W	140
<i>Corynabutilon vitifolium*</i>	CPC	Parque Katalapi	18-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Crinodendron hookerianum</i>	CPC	Parque Katalapi	18-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Crinodendron hookerianum*</i>	CPC	Parque Katalapi	18-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Crinodendron patagua*</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Crinodendron patagua</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Cryptocarya alba*</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Cryptocarya alba</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Drimys winteri*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Embothrium coccineum*</i>	CPC	Camino a Vilches	18-12-2011	35° 35' 36" S	71° 12' 32" W	555
<i>Escallonia pulverulenta*</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Escallonia pulverulenta</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Escallonia revoluta</i>	CPC	Camino a Vilches	18-12-2011	35° 34' 36" S	71° 28' 16" W	412
<i>Escallonia revoluta*</i>	CPC	Camino a Vilches	18-12-2011	35° 34' 37" S	71° 28' 16" W	412
<i>Eucryphia cordifolia*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Eucryphia cordifolia</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Eucryphia glutinosa*</i>	CPC	Arboreto UACH	11-11-2011	39° 48' 10" S	73° 15' 14" W	8
<i>Eucryphia glutinosa</i>	CPC	Arboreto UACH	11-11-2011	39° 48' 10" S	73° 15' 14" W	8
<i>Fitzroya cupressoides*</i>	CPC	Parque Katalapi	18-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Fitzroya cupressoides</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Geoffroea decorticans*</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585

<i>Gomortega keule*</i>	CPC	Arboreto UACH	11-11-2011	39° 48' 10" S	73° 15' 14" W	8
<i>Gomortega keule</i>	CPC	Arboreto UACH	11-11-2011	39° 48' 10" S	73° 15' 14" W	8
<i>Jubaea chilensis*</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Jubaea chilensis</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Kageneckia angustifolia*</i>	CPC	Camino a Farellones	29-11-2011	33° 20' 54" S	70° 21' 20,7"	1565
<i>Kageneckia angustifolia</i>	CPC	Camino a Farellones	29-11-2011	33° 20' 54" S	70° 21' 20,7"	1565
<i>Kageneckia oblonga*</i>	CPC	Camino a Farellones	29-11-2011	33° 21' 55" S	70° 23' 35" W	1206
<i>Kageneckia oblonga</i>	CPC	Camino a Farellones	29-11-2011	33° 21' 55" S	70° 23' 35" W	1206
<i>Laurelia sempervirens*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Laurelia sempervirens</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Laureliopsis philippiana*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Laureliopsis philippiana</i>	MB	Detico	ene-11	42° 53' 6" S	73° 31' 50,9" S	44
<i>Legrandia concinna</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Legrandia concinna*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Lithraea caustica*</i>	CPC	Camino a Farellones	26-10-2011	33° 21' 55" S	70° 23' 35" W	1206
<i>Lithraea caustica</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Lomatia dentata</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Lomatia dentata*</i>	CPC	Vilches	17-12-2011	35° 33" S	71° 10' W	1100
<i>Luma apiculata*</i>	CPC	Parque Katalapi	18-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Luma apiculata</i>	CPC	Parque Katalapi	18-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Maytenus boaria*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Maytenus boaria</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Maytenus magellanica*</i>	GA	P.N. Omora	01-2011	54° 56' 08" S	67° 36' 17" W	
<i>Maytenus magellanica</i>	GA	P.N. Omora	01-2011	54° 56' 08" S	67° 36' 17" W	
<i>Myrceugenia exsucca*</i>	CPC	Camino a Vilches	18-12-2011	35° 34' 37" S	71° 28' 16" W	405
<i>Myrceugenia obtusa*</i>	CPC	Quebrada Los Cadillos	30-09-2012	32° 32' 38" S	71° 26' 38,5"	419
<i>Myrceugenia obtusa</i>	CPC	Quebrada Los Cadillos	30-09-2012	32° 32' 38" S	71° 26' 38,5"	419

<i>Myrceugenia planipes</i>	CPC	Parque Katalapi	21-10-2011	41° 31' 12" S	72° 45' 02" W	65
<i>Myrceugenia planipes*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Nothofagus alpina</i>	CPC	Camino a Vilches	18-12-2011	35° 35' 36" S	71° 12' 32" W	555
<i>Nothofagus antarctica*</i>	CPC	Vilches	17-12-2011	35° 33' S	71° 10' W	1600
<i>Nothofagus antarctica</i>	MTK	EBSD	02-12-2011	42° 53' S	73° 40' W	70
<i>Nothofagus macrocarpa</i>	CPC	S. N. El Roble	02-11-2012	32° 58' S	71° 00' W	2000
<i>Nothofagus macrocarpa</i>	CPC	S. N. El Roble	02-11-2012	32° 58' S	71° 00' W	2000
<i>Nothofagus nitida*</i>	MTK	EBSD	02-12-2011	42° 53' S	73° 40' W	70
<i>Nothofagus nitida</i>	MTK	EBSD	02-12-2011	42° 53' S	73° 40' W	70
<i>Otholobium glandulosum</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Otholobium glandulosum*</i>	CPC	R. N. Río Clarillo	05-12-2011	33° 43' 55" S	70° 27' 15" W	1000
<i>Persea lingue*</i>	CPC	R. N. Río Clarillo	05-12-2011	33° 43' 55" S	70° 27' 15" W	1000
<i>Persea lingue</i>	CPC	R. N. Río Clarillo	05-12-2011	33° 43' 55" S	70° 27' 15" W	1000
<i>Peumus boldus*</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Pilgerodendron uviferum*</i>	MTK	EBSD	02-12-2011	42° 53' S	73° 40' W	70
<i>Pitavia punctata</i>	CPC	Arboreto UACH	11-11-2011	39° 48' 10" S	73° 15' 14" W	8
<i>Pitavia punctata*</i>	CPC	Arboreto UACH	11-11-2011	39° 48' 10" S	73° 15' 14" W	8
<i>Podocarpus nubigenus*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Podocarpus salignus*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Podocarpus salignus</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Prosopis alba*</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Prosopis alba</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Prosopis chilensis*</i>	CPC	Condominio Alto El Manzano	19-11-2011	33° 09' 54" S	70° 47' 33" W	600
<i>Prosopis chilensis</i>	CPC	Condominio Alto El Manzano	19-11-2011	33° 09' 54" S	70° 47' 33" W	600
<i>Prumnopitys andina*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Prumnopitys andina</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Quillaja saponaria*</i>	CPC	Camino a Farellones	26-10-2011	33° 21' 55" S	70° 23' 35" W	1206

<i>Quillaja saponaria</i>	CPC	J. B. Nacional	06-11-2011	33° 02' 32" S	71° 30' 11" W	71
<i>Raukava laetevirens*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Raukava laetevirens</i>	MTK	EBSD	02-12-2011	42° 53' S	73° 40' W	70
<i>Rhaphithamnus spinosus*</i>	CPC	J. B. UACH	10-11-2011	39° 48' 15" S	73° 14' 56" W	11
<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Salix humboldtiana*</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Salix humboldtiana</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Saxegothea conspicua*</i>	MTK	EBSD	02-12-2011	42° 53' S	73° 40' W	70
<i>Schinus latifolius*</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Schinus latifolius</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Schinus molle*</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Schinus molle</i>	CPC	Jardín Campus JGM	17-11-2011	33° 28' 05" S	70° 35' 43" W	585
<i>Schinus polygamus*</i>	CPC	Camino a Farellones	26-10-2011	33° 21' 55" S	70° 23' 35" W	1206
<i>Schinus polygamus</i>	CPC	Arboreto R.N. Río Clarillo	21-11-2011	33° 43' 38" S	70° 28' 49" W	900
<i>Weinmannia trichosperma*</i>	MTK	EBSD	02-12-2011	42° 53'	73° 40' W	70
<i>Weinmannia trichosperma</i>	MTK	EBSD	02-12-2011	42° 53'	73° 40' W	70

¹ Los taxa marcados con * fueron utilizados para construir el árbol filogenético con un individuo por especie.

² CPC=Constanza Pinochet Cobos, MTK= Mary Kalin Arroyo, MB= Mauricio Bosshard, GA= Gina Arancio

³ Localidades de recolección: J. B. Nacional=Jardín Botánico Nacional, J. B. UACH=Jardín Botánico Universidad Austral de Chile, R. N. Río Clarillo=Reserva Nacional Río Clarillo, EBSD= Estación Biológica Senda Darwin, Jardín Campus JGM= Jardín Campus Juan Gómez Millas, S. N. El Roble= Santuario de la Naturaleza El Roble, P. N. Queulat= Parque Nacional Queulat

Tabla 2. Individuos herborizados obtenidos del Herbario de la Universidad de Concepción.

Especie	N°	Recolector	Localidad	Fecha	Latitud	Longitud	Altura
<i>Azara integrifolia</i>	169162	N. García y A.	Fundo Nonguén	04-03-2004	36° 53' S	73° 00' W	200
<i>Blepharocalyx cruckshanksii</i>	175044	M. González y A. Cuevas	Chillinhue, Chillán	01-2010	36° 39' S	71° 53' W	240
<i>Corynabutilon vitifolium</i>	172875	M. Rosas	Oncol, Valdivia	10-03-2009	39° 41' S	73° 184' W	715
<i>Myrceugenia exsucca</i>	173193	A. Marticorena	Isla Santa María	25-11-2010	37° 04' S	73° 33' W	20

Tabla 3. Secuencias nucleotídicas obtenidas de la base de datos de Genbank¹.

Especie	Nº acceso GenBank
<i>Aextoxicon punctatum</i>	X83986.1
<i>Araucaria araucana</i>	AF249664.1
<i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	EU841115.1
<i>Dasyphyllum diacanthoides*</i>	L13863.2
<i>Drimys winteri</i>	AY572261.1
<i>Embothrium coccineum</i>	DQ875857.1
<i>Gevuina avellana*</i>	DQ875852.1
<i>Gevuina avellana</i>	U79169.1
<i>Ginkgo biloba</i> (grupo externo)	AJ235804.1
<i>Nothofagus alessandrii*</i>	L13341.2
<i>Nothofagus alessandrii</i>	AY605489.1
<i>Nothofagus alpina*</i>	L13342.2
<i>Nothofagus betuloides*</i>	L13345.2
<i>Nothofagus dombeyi*</i>	L13350.2
<i>Nothofagus glauca*</i>	L13352.2
<i>Nothofagus glauca</i>	AY605492.1
<i>Nothofagus obliqua*</i>	L13358.2
<i>Nothofagus obliqua</i>	AY605496.1
<i>Nothofagus pumilio*</i>	L13360.2
<i>Peumus boldus</i>	AF206807.1
<i>Pilgerodendron uviferum</i>	EU161452.1
<i>Podocarpus nubigenus</i>	AF307930.1
<i>Saxegothaea conspicua</i>	HM593684.1
<i>Sophora microphylla*</i>	AY725480.1

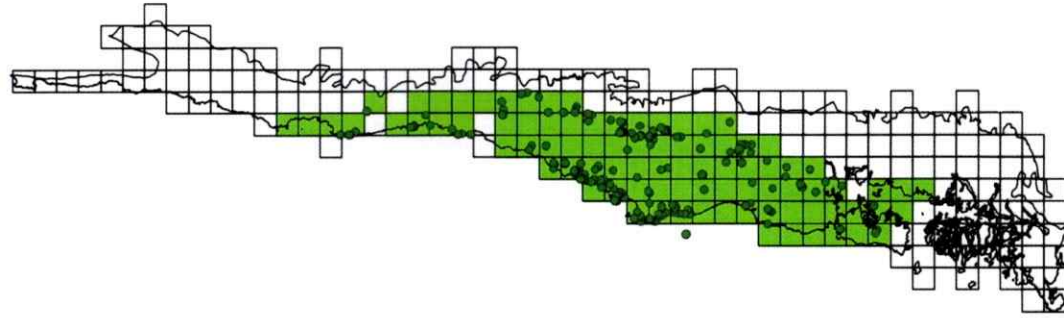
¹ Los taxa marcados con * fueron utilizados para construir el árbol filogenético con un individuo por especie.

Anexo 5. Datos de ocurrencias por especie y distribución potencial obtenida con el método GAP.

Acacia caven



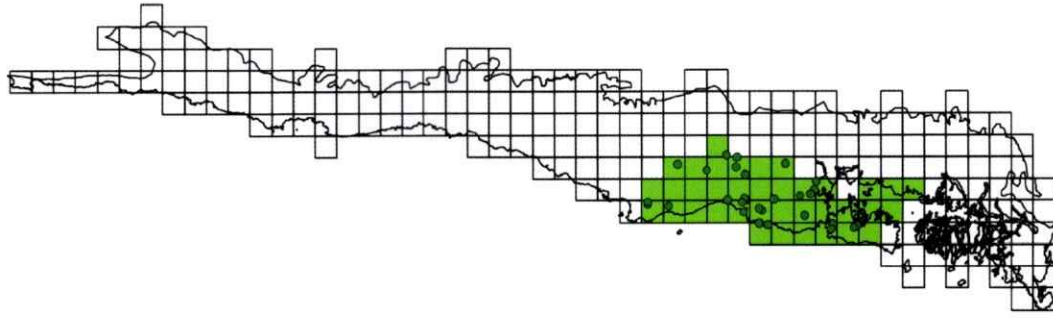
Aextoxicon punctatum



Amomyrtus luma



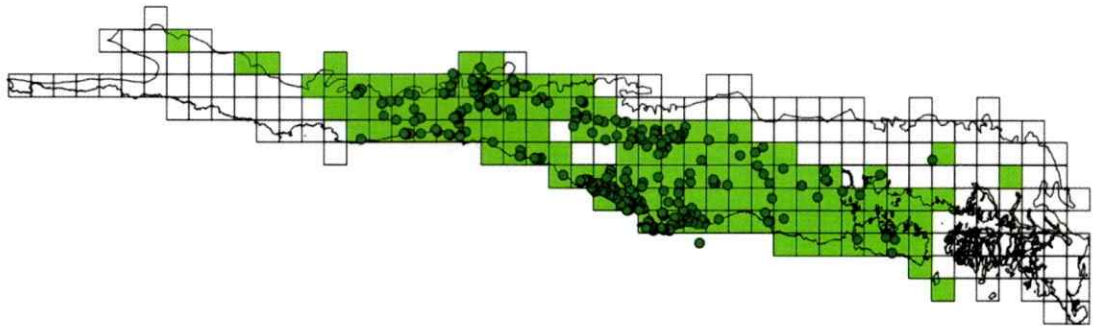
Amomyrtus meli



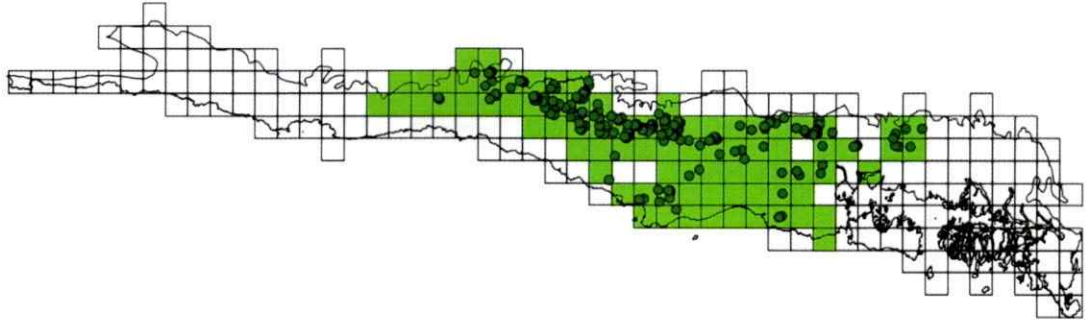
Araucaria araucana



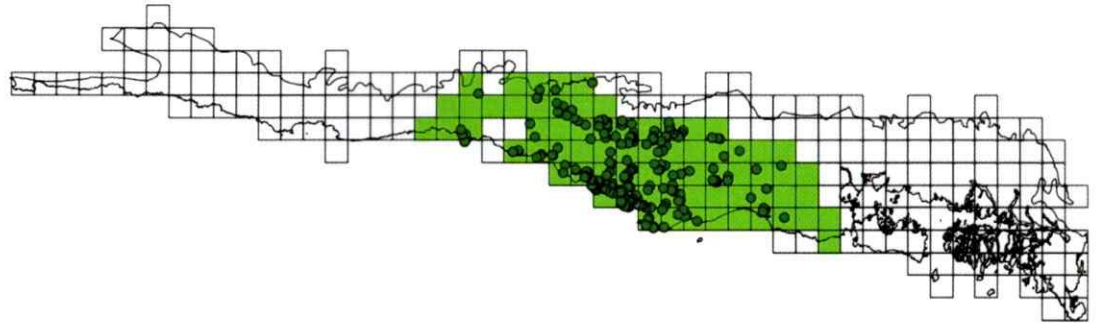
Aristotelia chilensis



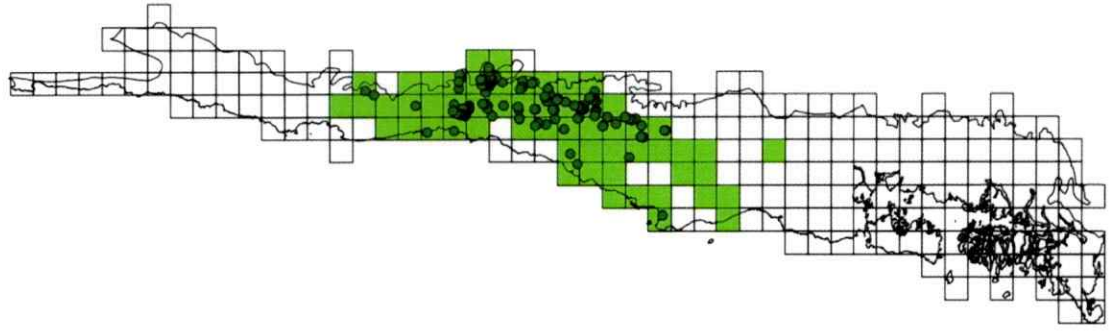
Austrocedrus chilensis



Azara integrifolia



Azara petiolaris



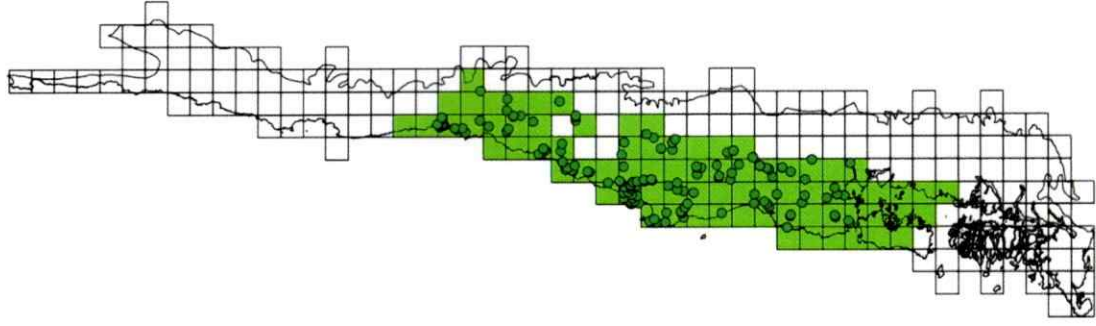
Beilschmiedia berteriana



Beilschmiedia miersii



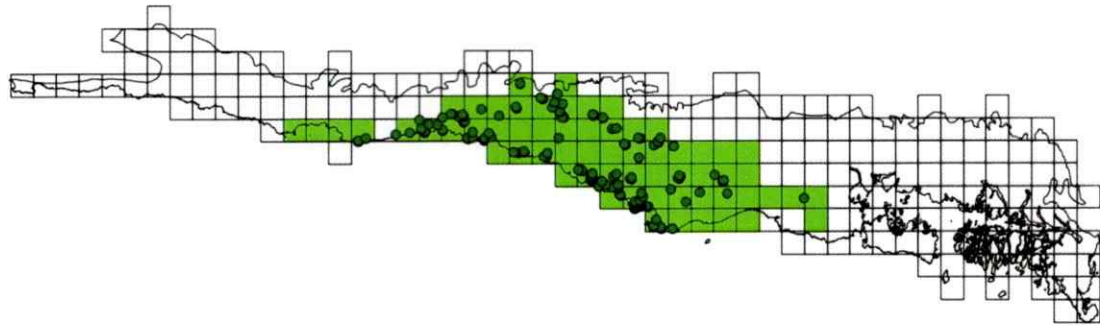
Blepharocalyx cruckshanskii



Cordia decandra



Citronella mucronata



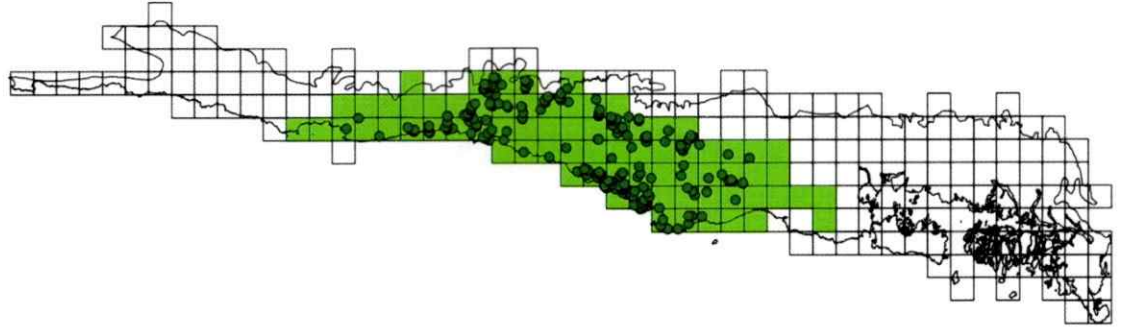
Caldecluvia paniculata



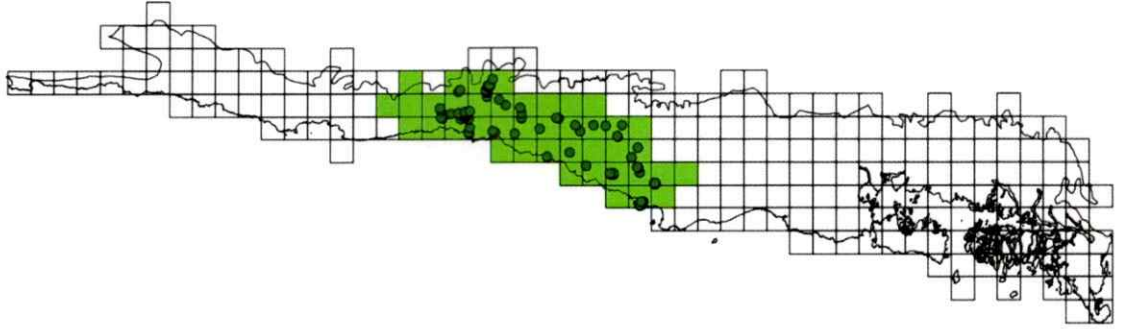
Caesalpinia spinosa



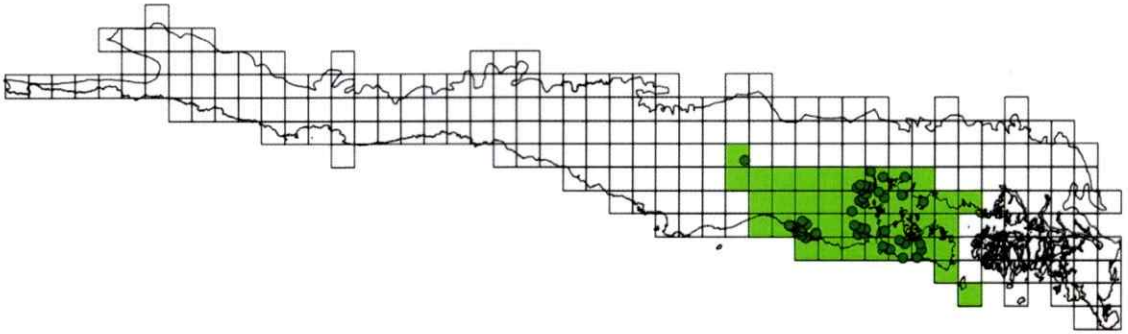
Cryptocarya alba



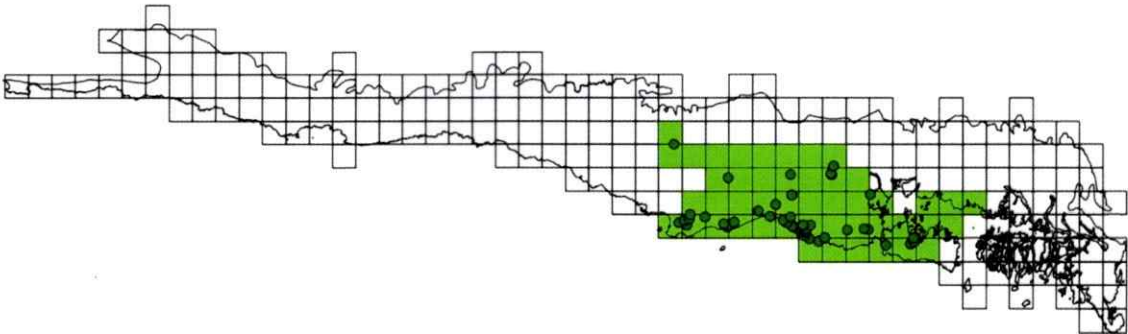
Crinodendron patagium



Crinodendron hookerianum



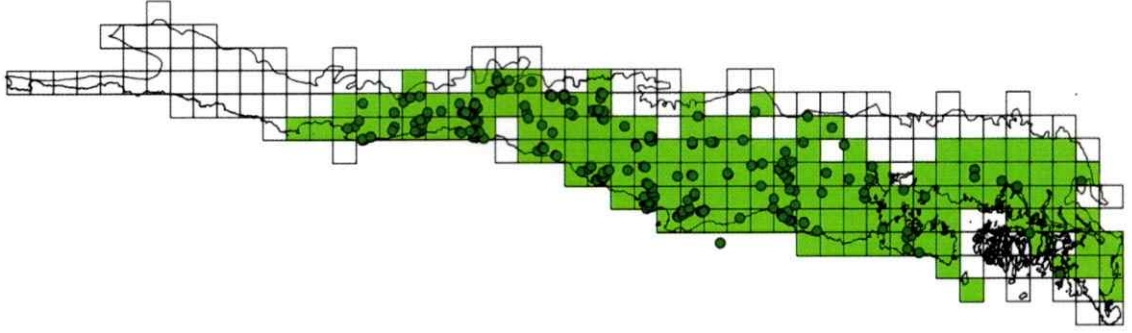
Corynabutilon vitifolium



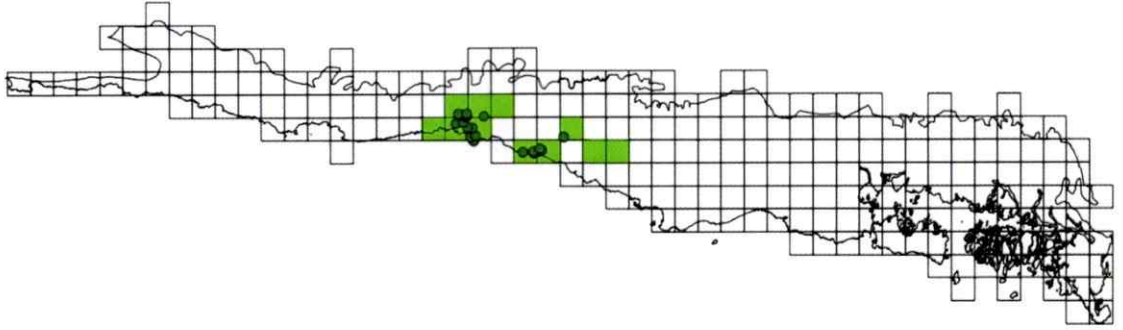
Embothrium coccineum



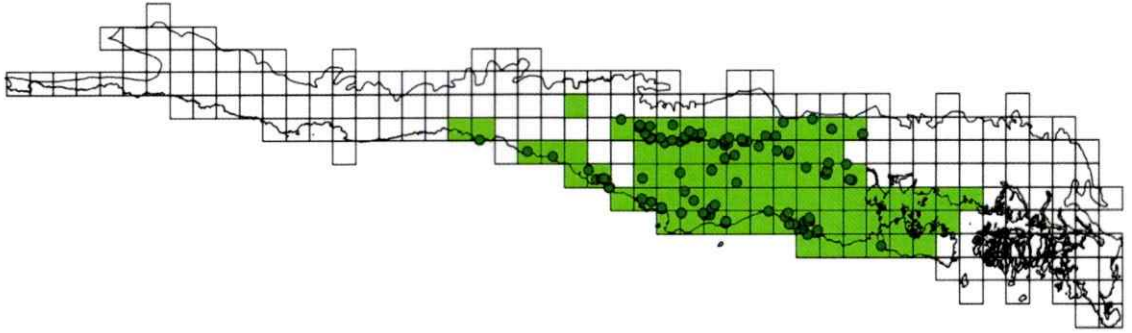
Drimys winteri



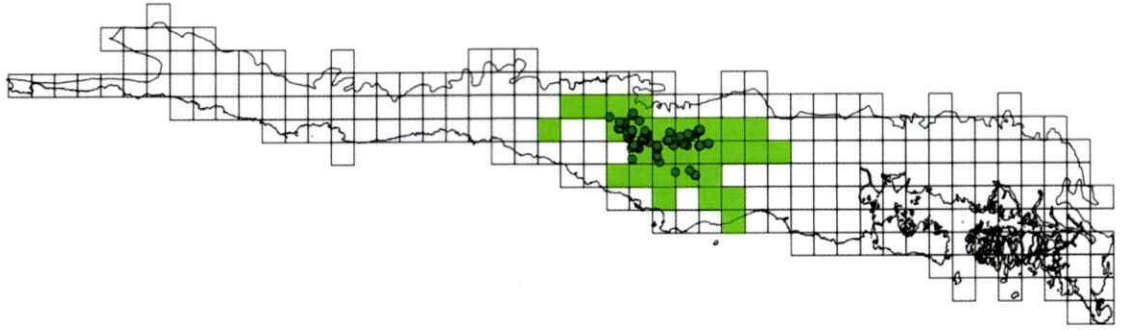
Dasyphyllum excelsum



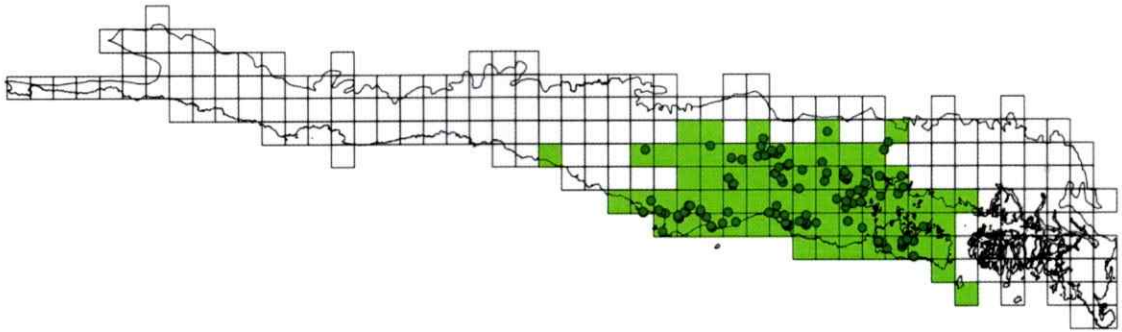
Dasyphyllum diacanthoides



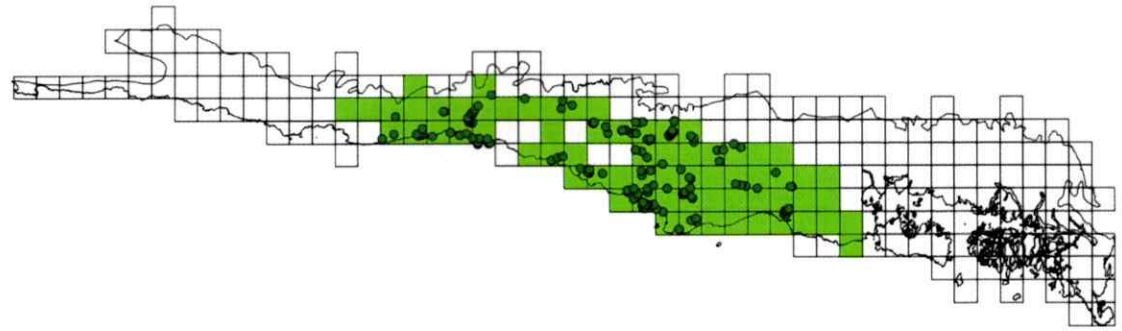
Eucryphia glutinosa



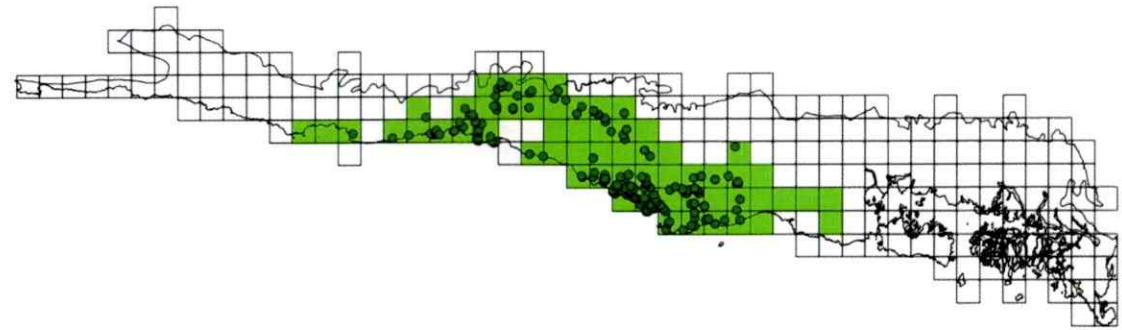
Eucryphia cordifolia



Escallonia revoluta



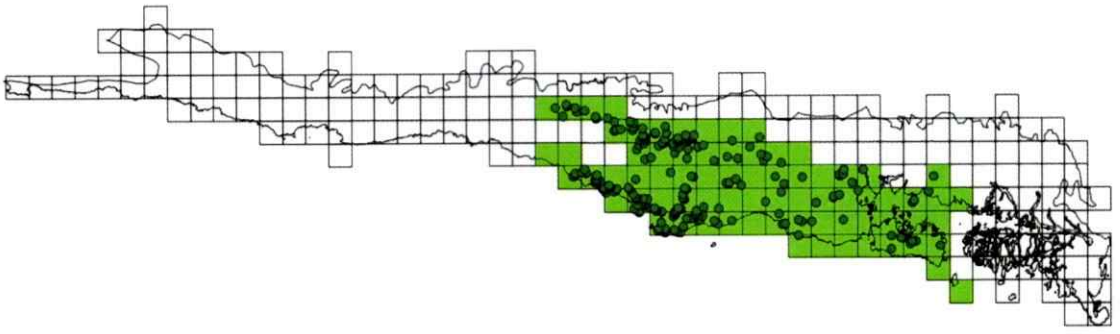
Escallonia pulverulenta



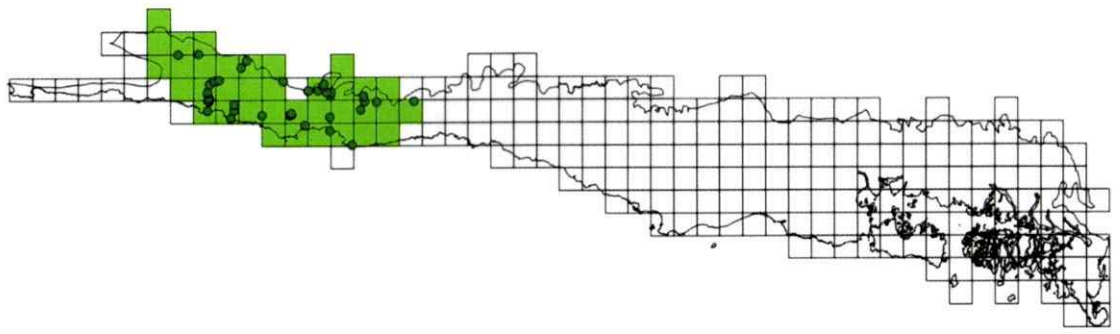
Gomortega keule



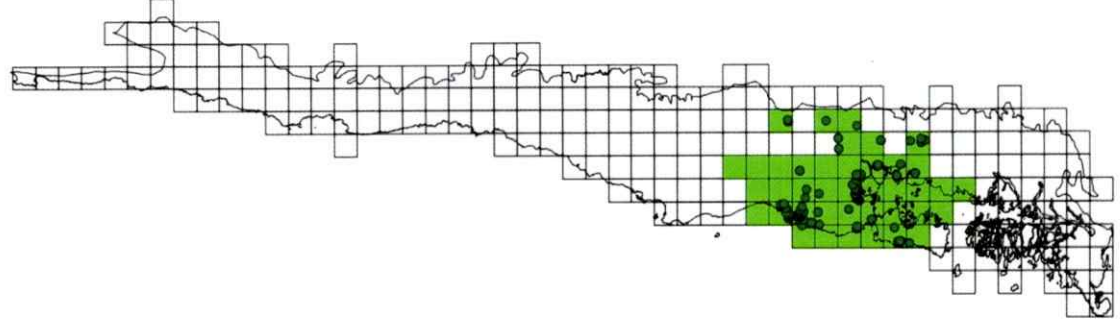
Gevuina avellana



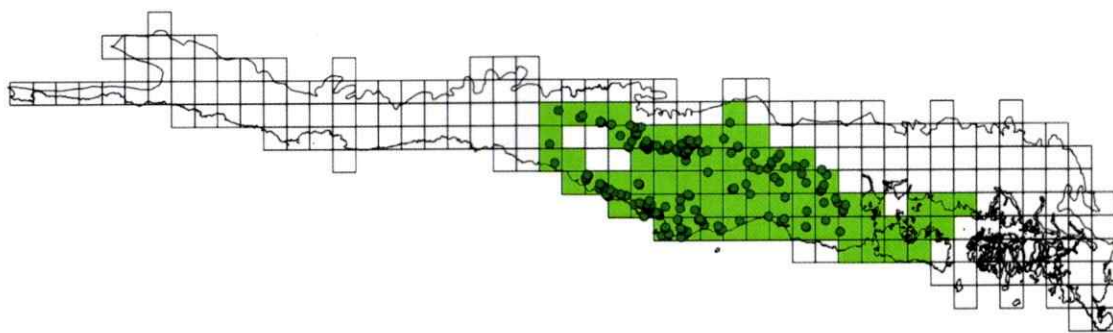
Geoffroea decorticans



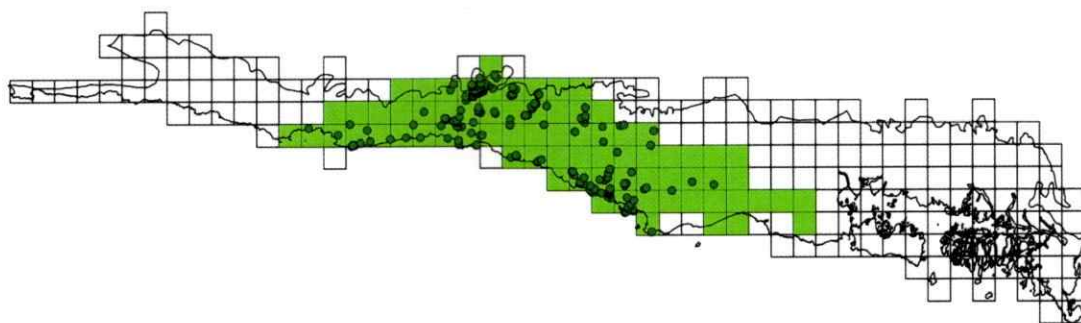
Fitzroya cupressoides



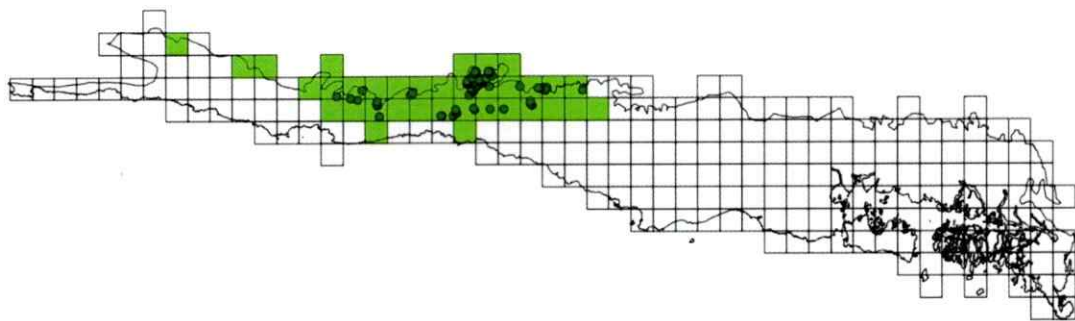
Laurelia sempervirens



Kageneckia oblonga



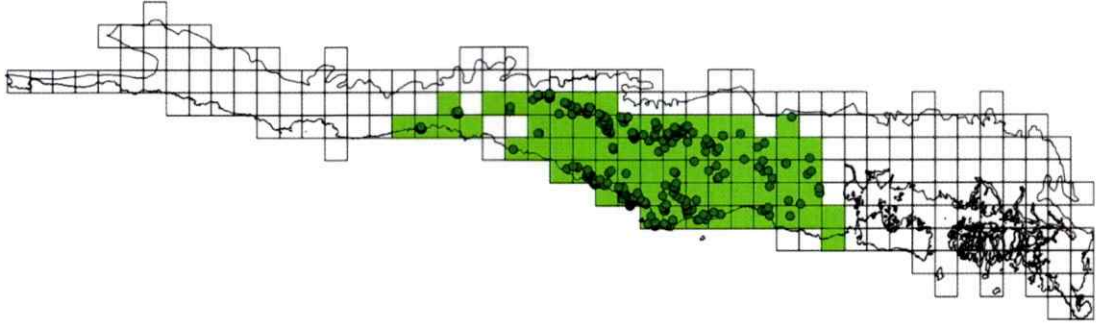
Kageneckia angustifolia



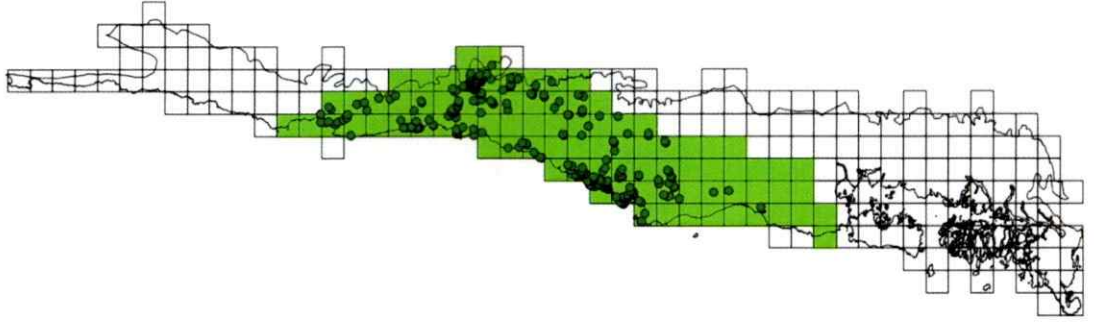
Jubaea chilensis



Lomatia dentata



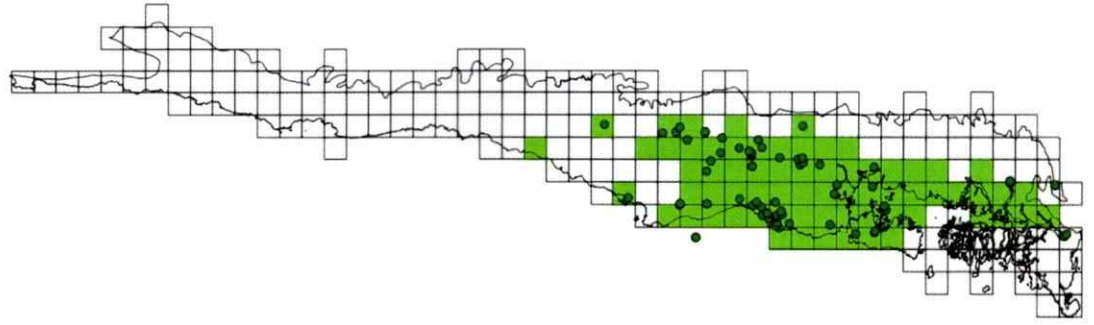
Lithraea caustica



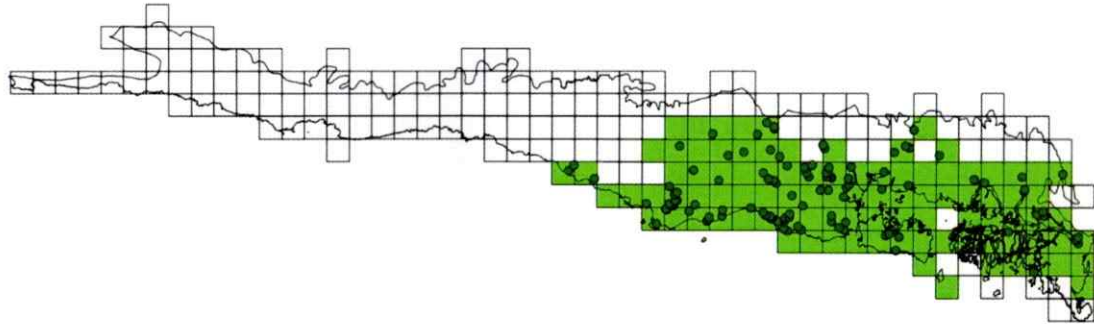
Legrandia concinna



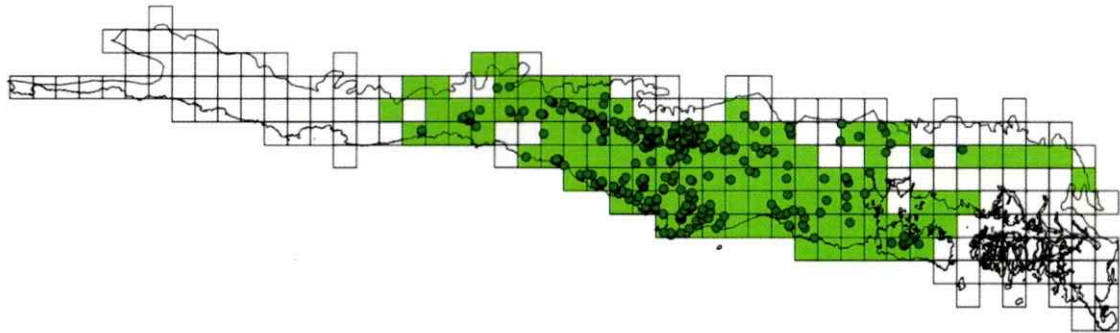
Laureliopsis philippiana



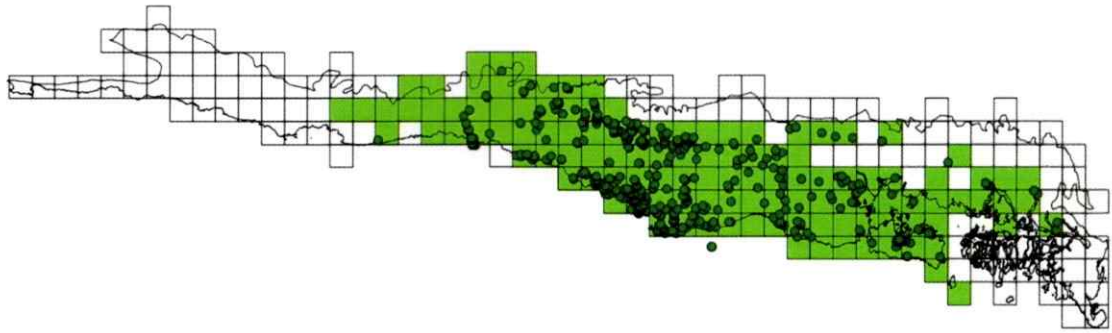
Lomatia ferruginea



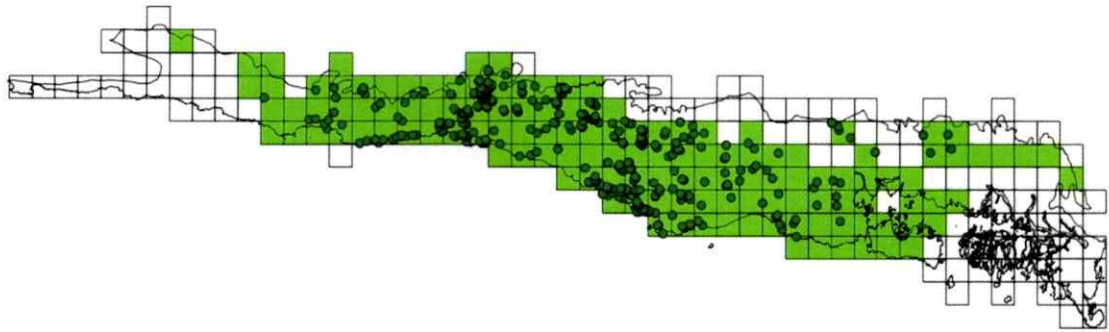
Lomatia hirsuta



Luma apiculata



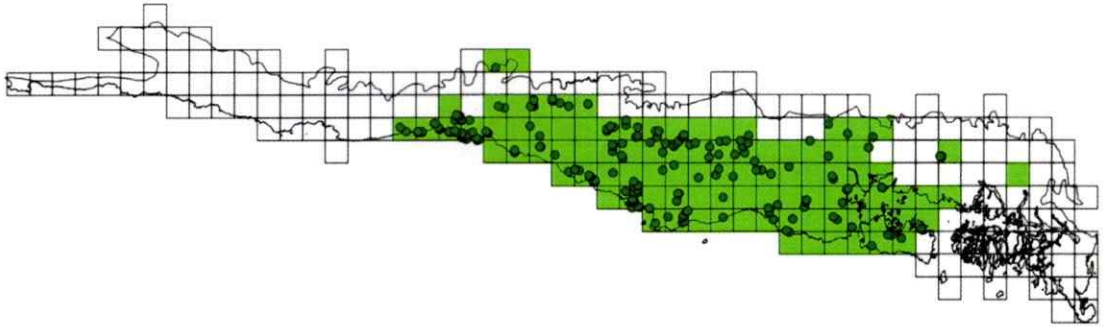
Maytenus boaria



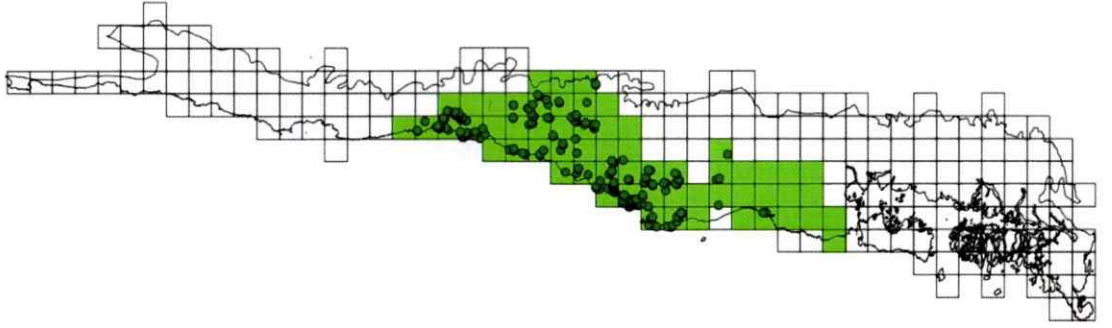
Maytenus magellanica



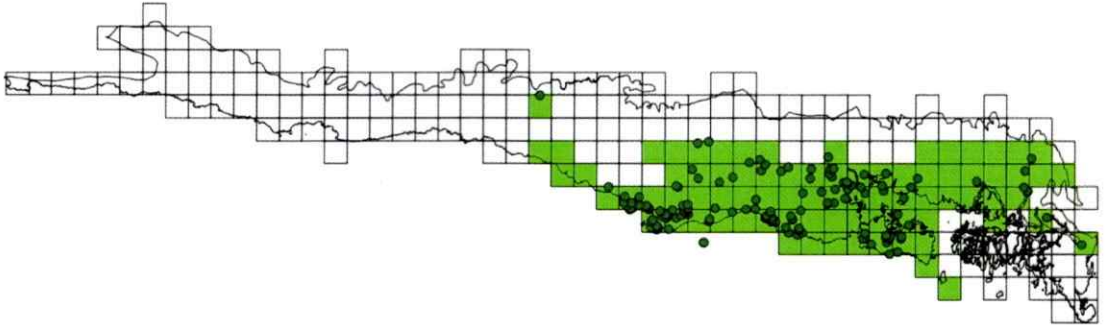
Myrceugenia exsucca



Myrceugenia obtusa



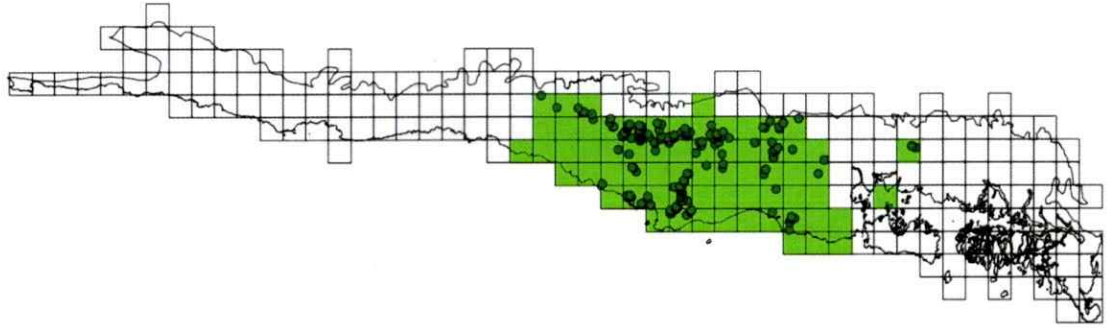
Myrceugenia planipes



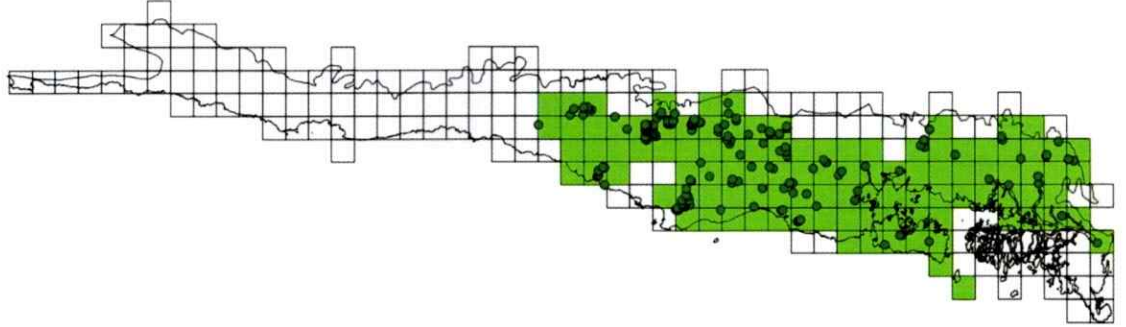
Nothofagus alessandrii



Nothofagus alpina



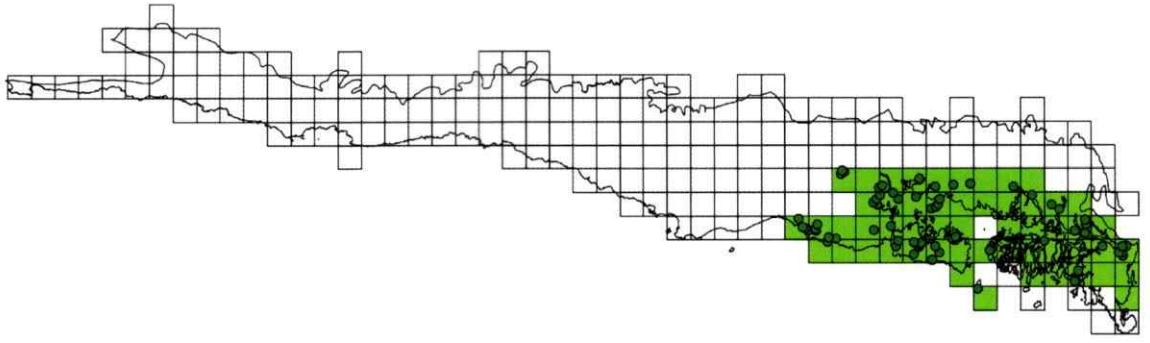
Nothofagus antarctica



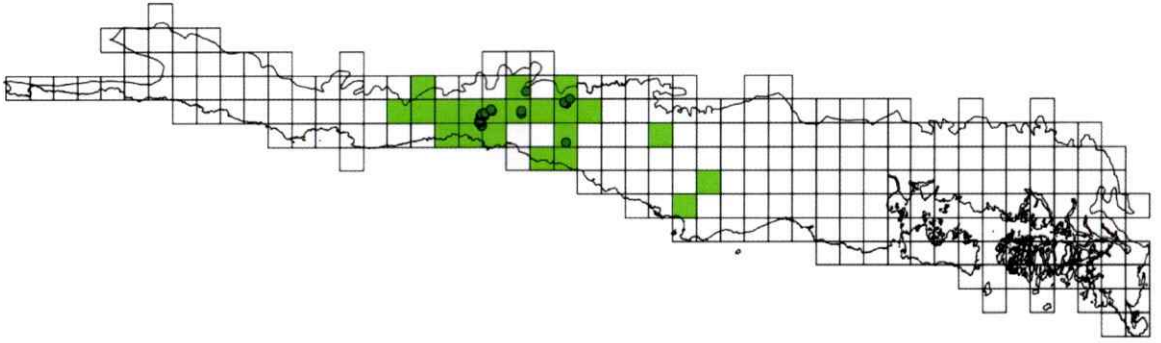
Nothofagus betuloides



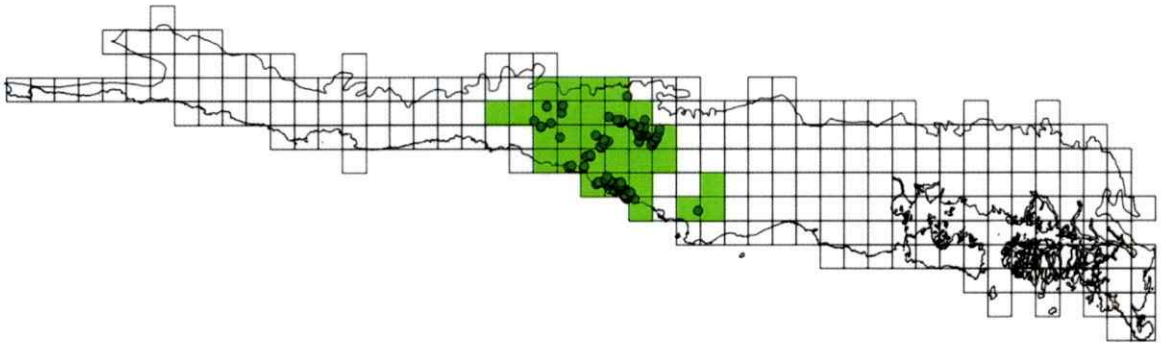
Nothofagus nitida



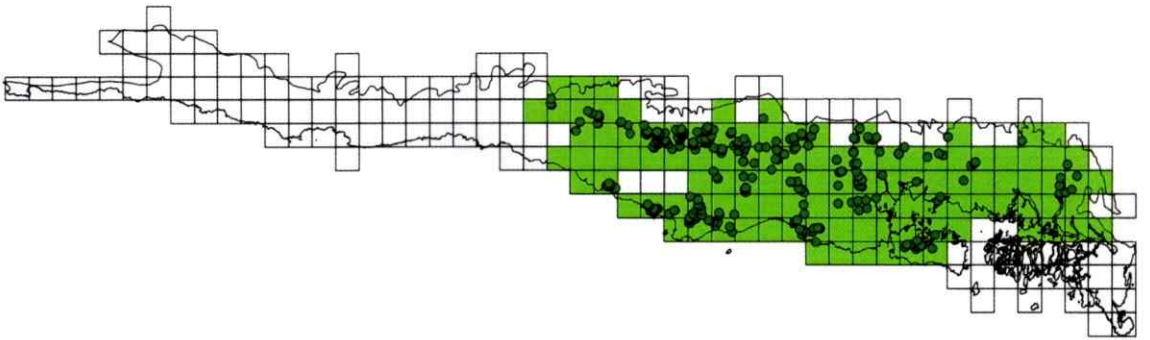
Nothofagus macrocarpa



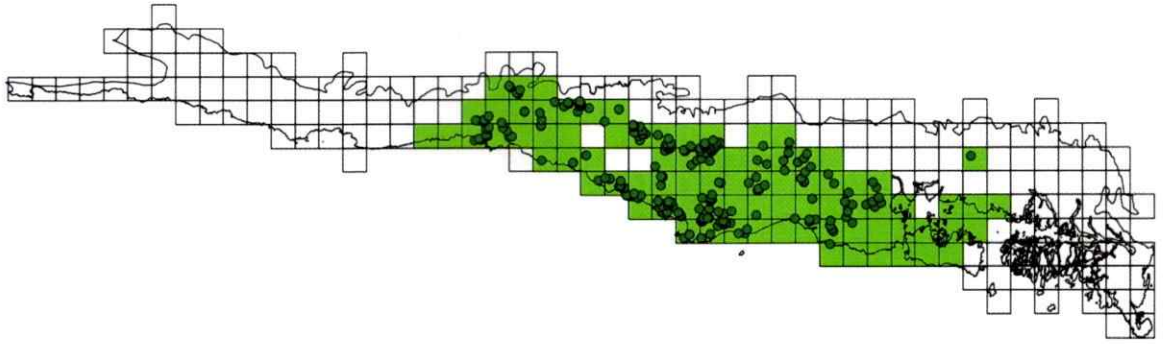
Nothofagus glauca



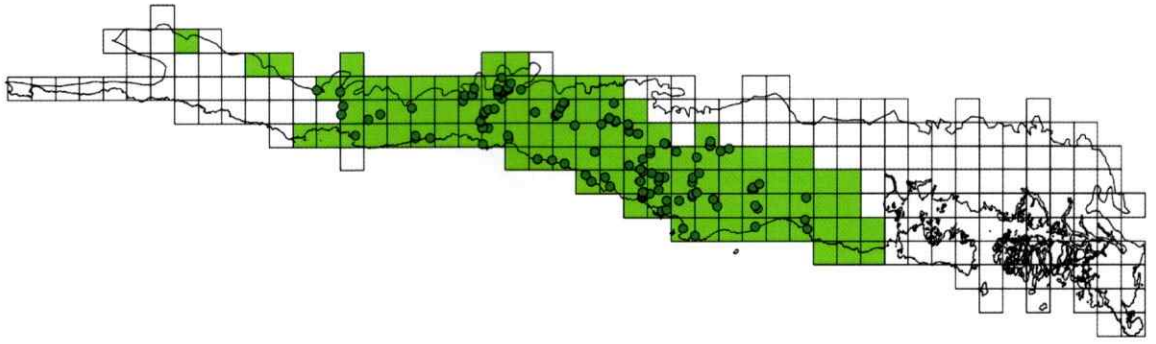
Nothofagus dombeyi



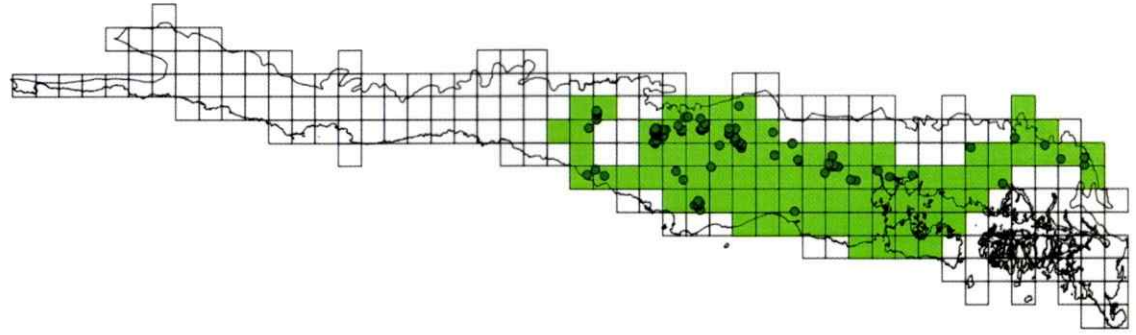
Persea lingue



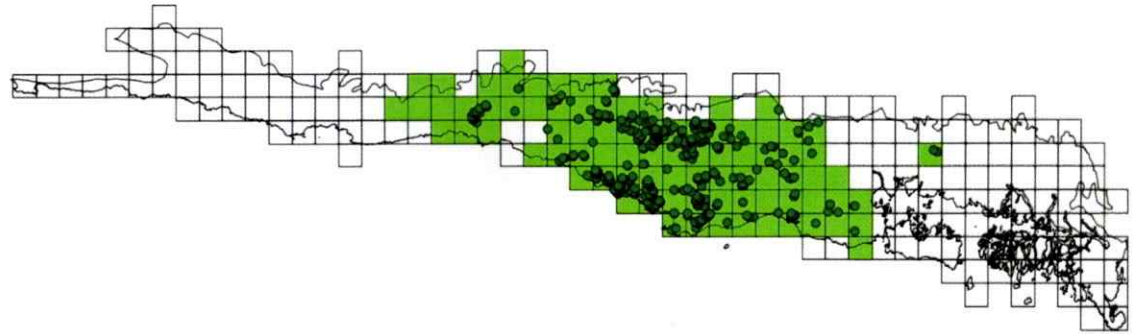
Othobium glandulosum



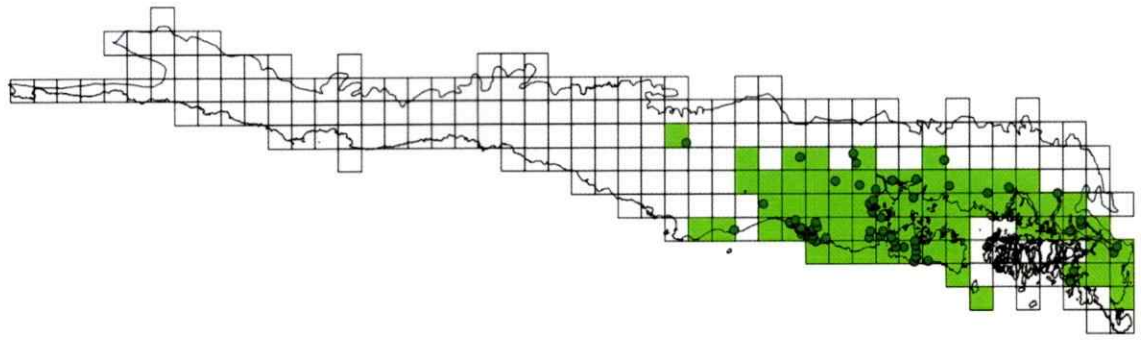
Nothofagus pumilio



Nothofagus obliqua



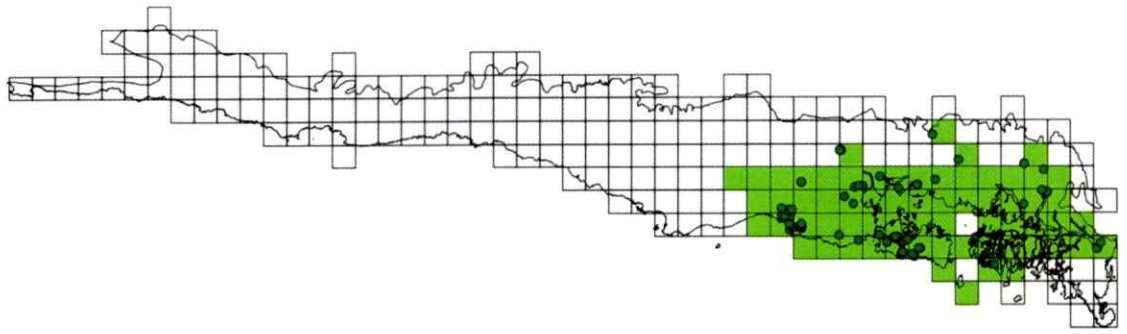
Podocarpus nubigenus



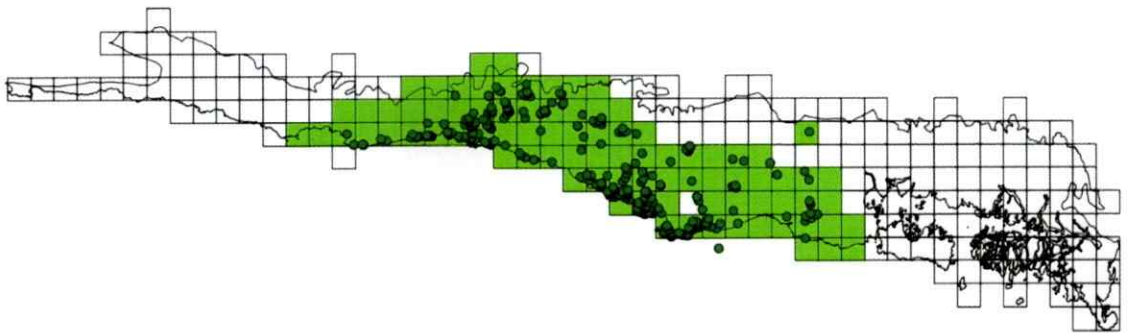
Pitavia punctata



Pilgerodendron uviferum



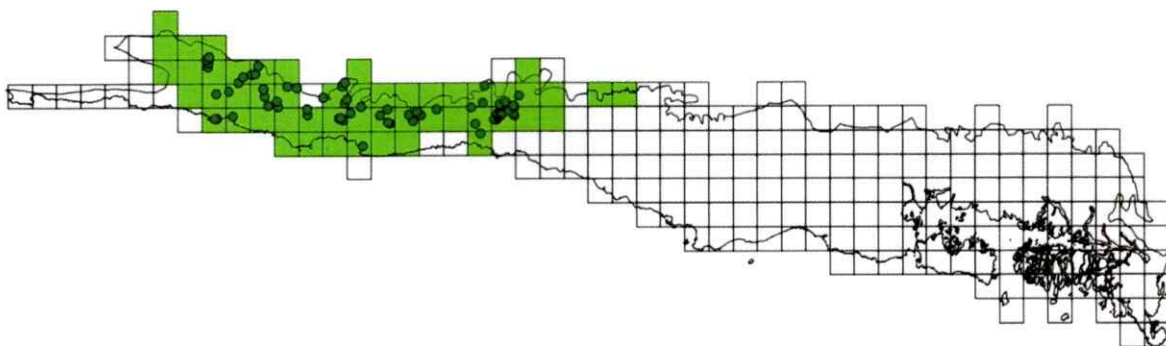
Peumus boldus



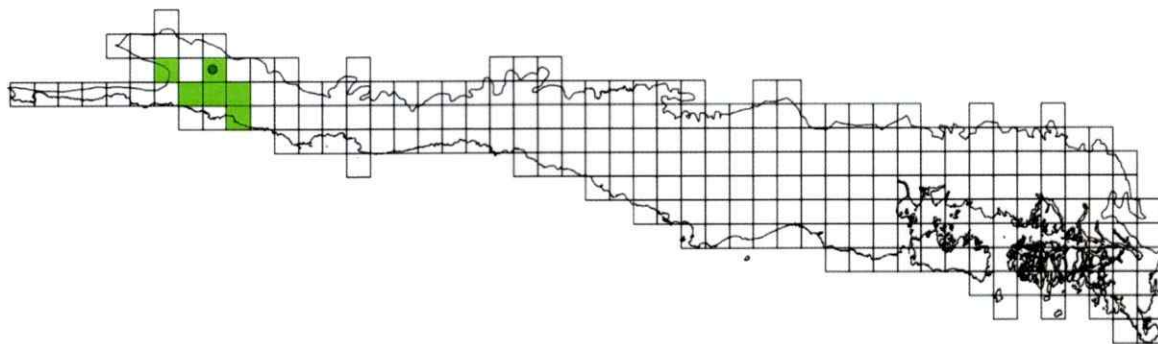
Prumnopitys andina



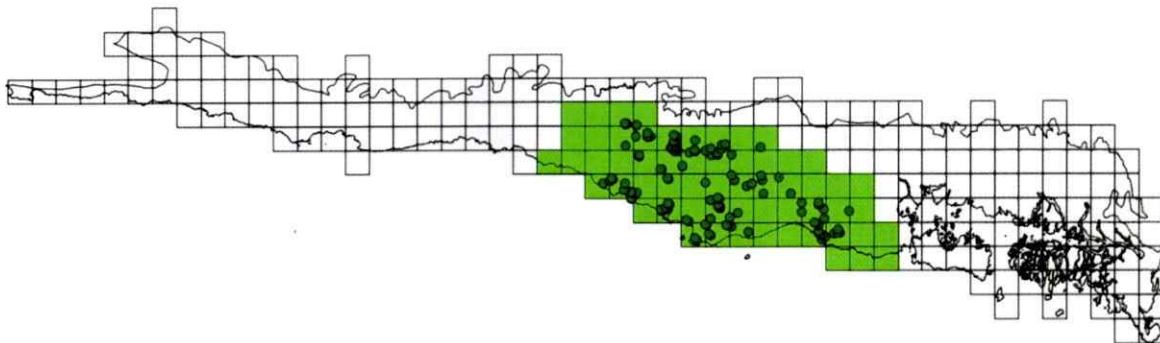
Prosopis chilensis



Prosopis alba



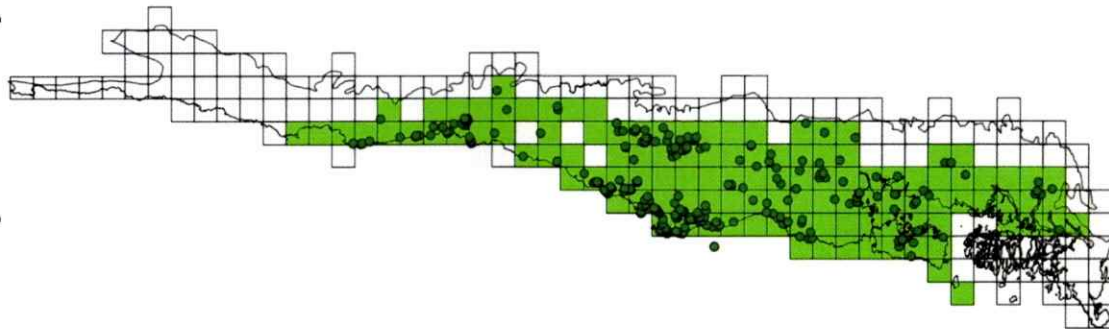
Podocarpus salignus



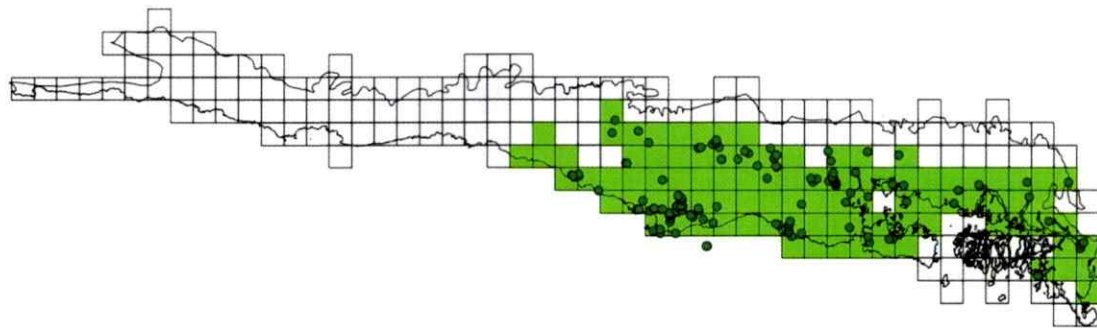
Salix humboldtiana



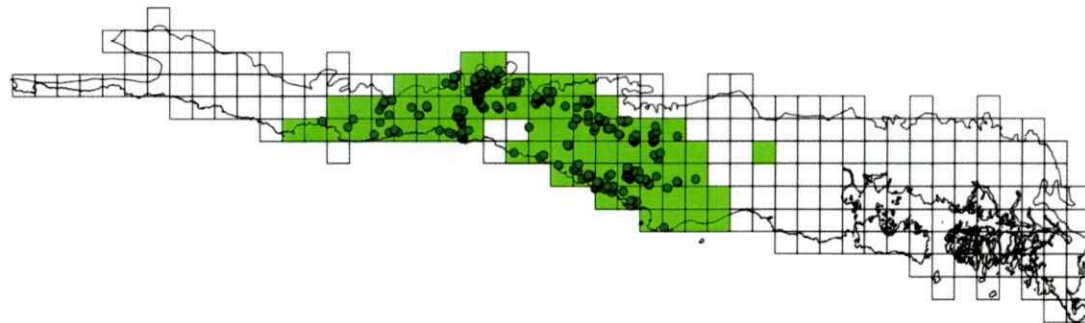
Rhaphithamnus spinosus



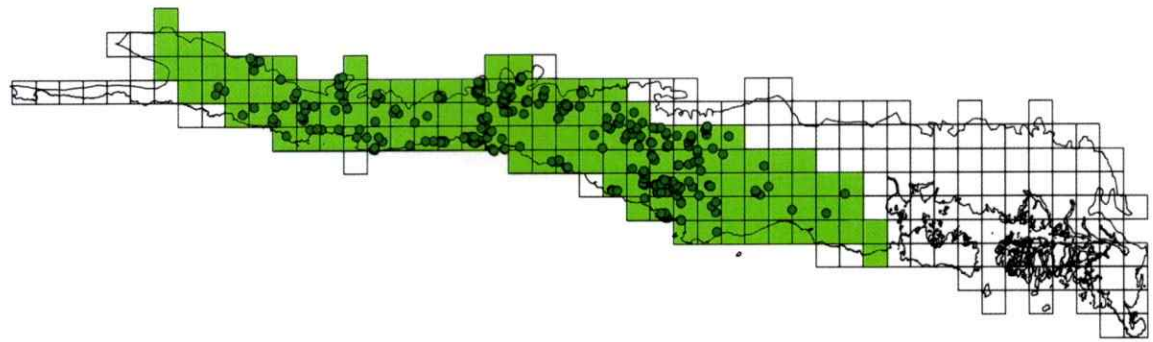
Raukava laetevirens



Quillaja saponaria



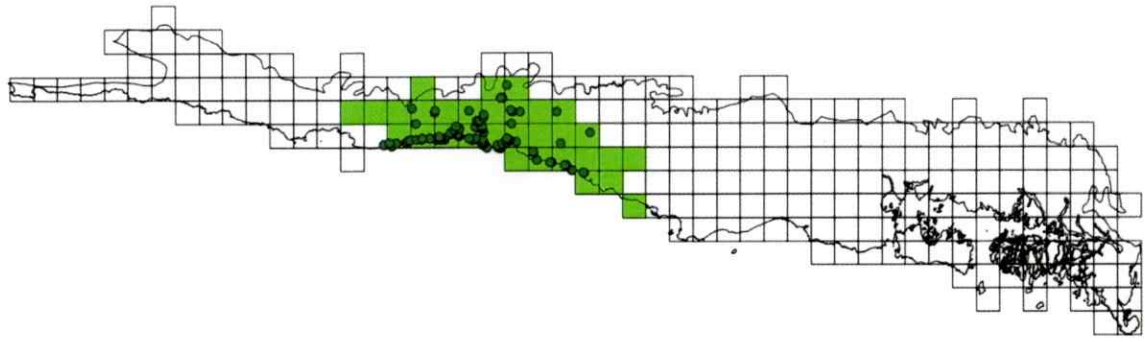
Schinus polygamus



Schinus molle



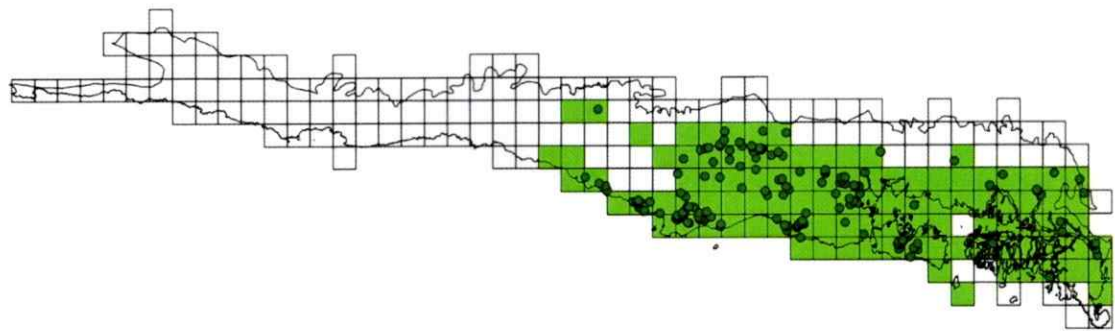
Schinus latifolius



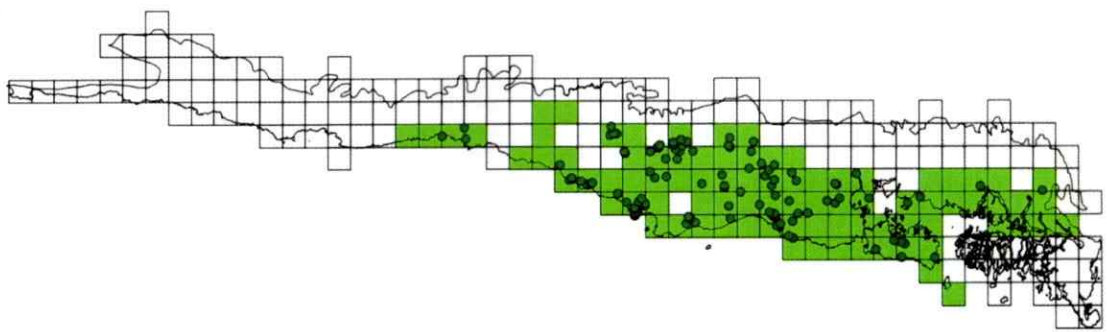
Saxegothaea conspicua



Weinmannia trichosperma



Sophora cassioides



Anexo 6.

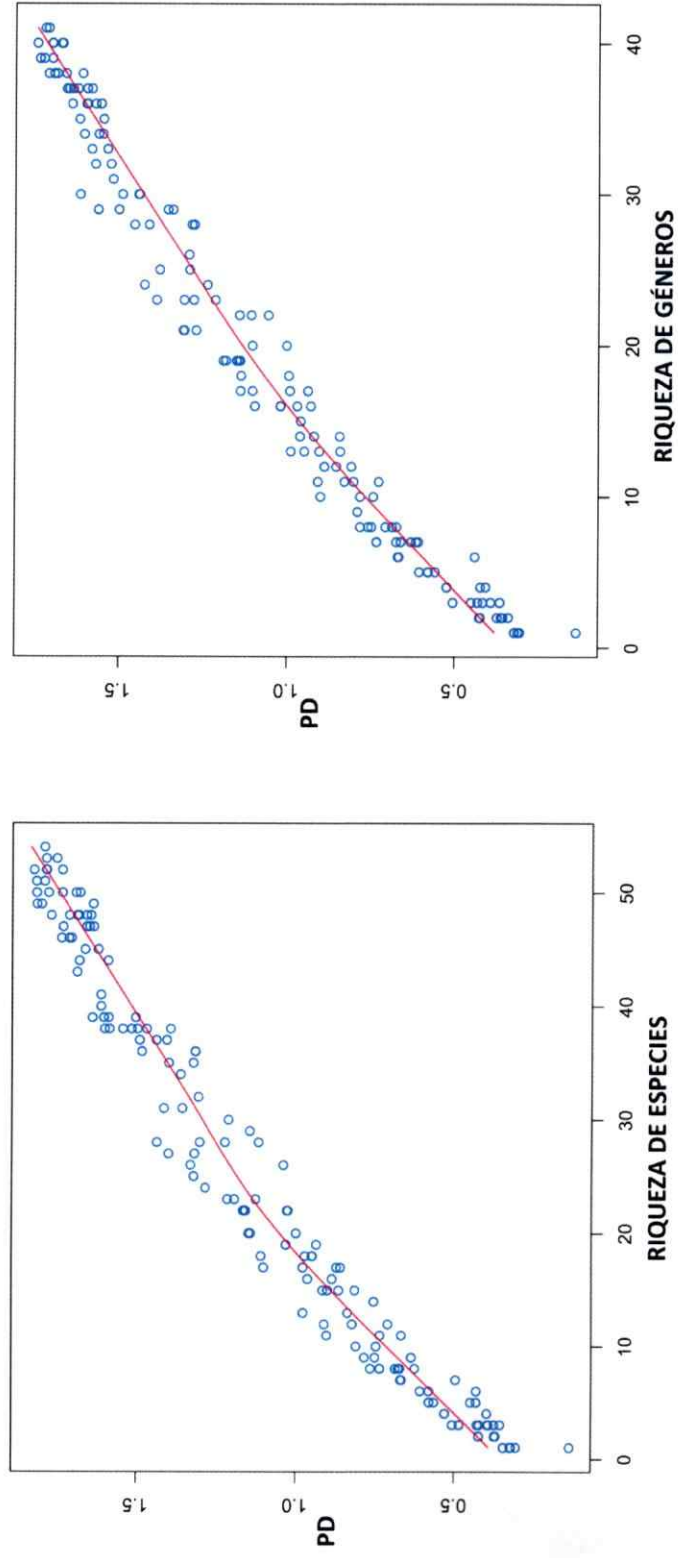


Figura 1. Se muestra el gráfico de una regresión de Loess de diversidad filogenética (DF) en riqueza medidos a nivel de especies (izquierda) y diversidad filogenética en riqueza medidos a nivel de géneros (derecha).