



Chloris Chilensis

Revista chilena de flora y de vegetación

Año 26. N.º2

**EVALUACIÓN DE AISLAMIENTO GEOGRÁFICO Y PRIORIZACIÓN PARA LA
CONSERVACIÓN DE LAS ESPECIES DE LOS BOSQUES RELICTOS DE NIEBLA DEL
NORTE DE CHILE**

*EVALUATION OF THE GEOGRAPHICAL ISOLATION AND CONSERVATION PRIORITIZATION
OF SPECIES FROM THE RELICTUAL FOG-DEPENDENT FORESTS OF NORTHERN CHILE*

Sergio T. Ibáñez¹ & Carolina Pañitru¹

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro de Estudios de la Biodiversidad.
Camino a Peralillo s.n., Vicuña, Chile.

E-mail: sergotibanez@gmail.com

RESUMEN

Los bosques de niebla son ecosistemas singulares debido a su relación florística con otros biomas de climas distintos al que se insertan. Esta afinidad se da por la presencia de especies también encontradas en climas con alta disponibilidad hídrica, lo que limita su distribución en zonas áridas. A pesar de que se ha documentado continuamente la flora de estos tipos de bosque, no hay certeza de qué especies dependen de estos ecosistemas para sobrevivir en el clima en que se insertan. Para detectar aquellas especies restringidas a los bosques de niebla, determinar su frecuencia y grado de aislamiento, se usaron cuadrículas de 0,125° en la costa de la Región de Coquimbo y norte de Valparaíso para seleccionar las especies sólo presentes en áreas con estos bosques, contabilizando presencias y la distancia entre estas mediante cuadrículas. Para cuantificar aislamiento de las especies seleccionadas con otras regiones biogeográficas, se usaron cuadrículas de 0,875° para medir la distancia entre las poblaciones de los bosques relictos de niebla y la más cercana fuera de estos. Se seleccionaron 47 especies restringidas a bosques de niebla en el área seleccionada, donde la mayoría de las especies registradas en un solo bosque se encuentran en el del P.N. Fray Jorge. Se

obtuvo, además, que la mayoría de las especies seleccionadas se comparten con la región biogeográfica andina. Tomando en consideración los resultados del grado de aislamiento de las poblaciones, los resultados serán de ayuda para priorizar las medidas de conservación de las especies y de los sitios donde ellas crecen.

Palabras clave: bosques relictos, niebla, disyunción, Región de Coquimbo, priorización.

ABSTRACT

Fog-dependent forests are unique ecosystems because of their floristic relation with other biomes of different climates where these forests are inserted. This affinity arises from the presence of species also found in climates with high water availability, limiting their distribution in arid zones to these specific forests. Despite the continuous documentation of the flora in these types of forests, there is no certainty as to which species depend on these ecosystems to survive in the climate in which they are located. To detect those species restricted to fog forests, determine their frequency and isolation, 0.125° grids were used on the coast of the Region de Coquimbo and northern Valparaíso to select species only present in areas with these forests, counting presences and the distance between them using grids. To quantify the isolation of the selected species from other biogeographic regions, 0.875° grids were used to measure the distance between populations of fog forests and the nearest ones outside of them. 47 species restricted to fog forests were selected in the chosen area, where most of the species recorded in a single forest are found in Fray Jorge. On the other hand, the majority of selected species are shared with the Andean biogeographic region. These results will be helpful in prioritizing species and sites for conservation, considering the degree of population isolation.

Key words: relict forest, fog, disjunction, Region de Coquimbo, prioritization.

INTRODUCCIÓN

Los bosques relictos en el norte de Chile destacan como ecosistemas excepcionales debido a su singular fisionomía de vegetación de tipo higrófilo en un contexto xerofítico. Se trata de bosques propios de un clima oceánico muy húmedo (Di Castri & Hajek, 1976) que crecen en áreas áridas-mediterráneas y tienen una composición florística y una estructura que difiere notablemente de la vegetación que los circunda.

Estos bosques se distribuyen de manera discontinua a lo largo del centro-norte de Chile y crecen en planicies o en laderas, y l sur de los 32 ° LS, se refugian en las quebradas más húmedas (Pérez &

Villagrán, 1985; Núñez-Ávila & Armesto, 2006).

Los bosques relictos de los cerros de la cordillera de la Costa dependen directamente de la capa de nubes, de tipo estratocúmulo, que proviene desde el océano y les aportan la humedad necesaria, razón por la que se conocen como “bosques relictos de niebla” (BRN).

Se ha establecido que estos bosques tienen similitud con la flora de la llamada “selva valdiviana del sur de Chile” (Villagrán et al., 2004), lo que ha dado origen a un enigma crucial para la biogeografía del país. Al respecto, las hipótesis más recurrentes sobre el origen de estos bosques son, uno neotropical durante el período Terciario (Schmithüsen, 1956; Kummerow et al., 1961; Hoffmann, 1961; Zúñiga, 1979; Troncoso et al., 1980; Villagrán & Armesto, 1980) o uno austral-oceánico causado por las variaciones temporales en la distribución de los bosques de tipo patagónico durante el período Cuaternario (Looser 1935, Muñoz & Pisano, 1947, Skottsberg 1948 y Wolffügel, 1949). En ambos escenarios, los BRN tendrían un origen relictos con reclutamiento de elementos de linajes de Sudamérica tropical, de la Patagonia, de algunas islas Oceánicas y de Oceanía (Francois, 2004; Villagrán et al., 2004), lo que respaldaría, de alguna manera, a ambas hipótesis.

Al nivel de las especies, la existencia de una flora compartida entre los bosques relictos de neblina y los austral-valdivianos es de gran interés y es la evidencia de una conexión florística entre estos dos ecosistemas (Troncoso et al., 1980; Villagrán & Armesto, 1980). Su actual aislamiento geográfico, sin embargo, sugiere entre las poblaciones de las especies disyuntas debiesen existir importantes diferencias de tipo genético (Schaal et al., 1998; Dias et al., 2016; Morente-López et al., 2018); tal como Núñez-Ávila & Armesto (2006) lo han propuesto para el olivillo (*Aextoxicon punctatum*) entre sus poblaciones sur y centro norte.

Debido a lo expresado resulta necesario evaluar a las especies con distribución geográficamente disyunta *de una manera diferente* para llevar a cabo una mejor toma de decisiones en el marco de las políticas de conservación de las especies.

OBJETIVO

Este trabajo busca establecer cuáles son las especies del norte de Chile que tienen una distribución geográfica restringida actualmente a los ambientes del tipo bosques de niebla. Respecto de ellas, se requiere cuantificar el grado de aislamiento que tienen en el norte de Chile o en otros tipos de biomas. Se espera que, para los fines de la conservación de las especies, los resultados de los análisis contribuyan a priorizar a aquellas especies cuyas poblaciones estén más fragmentadas y más aisladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se extiende desde la costa de la Región de Coquimbo hasta el límite con la de Valparaíso. En el contexto del área elegida se seleccionaron las localidades donde aún crecían **bosques relictos de niebla** de acuerdo con la definición acuñada por Pérez & Villagrán (1985) y se excluyó de los análisis a las localidades donde crecen otros tipos de bosque, relictos o higrófilos (Oberdorfer, 1960; Villagrán & Armesto, 1980), porque se consideró que no tienen una dependencia directa de las nieblas para su sobrevivencia.

Las localidades que cumplen los requisitos de este análisis son, de norte a sur, el bosque de Fray Jorge, el del cerro Talinay, el del cerro Talinay de Huentelauquén -también conocido como cerro Talinay de Choapa o de Canela-, el cerro La Bandera -o fundo Caracas-, el cerro Santa Inés de Pichidangui y el cerro Imán (Fig. 1 B). Dado que el abastecimiento hídrico no proviene directamente de la niebla, se excluyó de los análisis al bosque pantanoso de Ñague, a la quebrada Camarones y al estero de Culimo (Maldonado & Villagrán, 2001; Squeo et al., 2001).

Selección de las especies restringidas a bosques de niebla

La priorización de especies que se propone consideró a aquellas especies que en el contexto del área de estudio habitan de modo exclusivo en los bosques relictos de niebla y están, al mismo tiempo, ausentes en los ecosistemas xerofíticos zonales del área. A estas especies las denominaremos como “restringidas a los bosques de niebla” (ERBN).

Los pasos para establecer si una especie era o no de tipo ERBN se muestran en la Fig. 2. El primer paso fue construir una lista de especies de las localidades elegidas a partir de los datos publicados en los catálogos de la flora regional de Villagrán & Armesto (1980), Pérez & Villagrán (1985), Conaf (1998), Marticorena et al. (2001), Arancio et al. (2004 a), Arancio et al. (2004b) y François (2004); luego, ya en posesión de aquella lista, para cada especie *se descargó la información de presencia* utilizando la función de GBIF (GBIF.org, 2023) del paquete “Dismo en R” (Hijmans et al., 2022). Las presencias inciertas o las de las especies apenas coleccionadas se corroboró y complementó la consulta de trabajos sobre los grupos específicos y a los ejemplares en el Herbario del Museo Nacional de Historia Natural (SGO).

Para evitar los errores en relación con la *extensión efectiva* de cada bosque relictos de niebla y las posibles incertezas debidas a la baja resolución o a la no disponibilidad de coordenadas en los registros de las especies, el área del estudio se subdividió en *unidades espaciales homogéneas*; para ello se analizaron cuadrantes de $0,125^\circ$ (~14 km) ubicados en el área de presencia de los BRN, es

decir, desde los $30^{\circ}33'33''\text{S}$ hasta los $32^{\circ}18'33''\text{S}$ y desde el océano Pacífico hasta los $70^{\circ}52'48''\text{O}$ (Fig. 1B). Finalmente, para determinar las especies que eran del tipo ERBN, se llevó a cabo una selección de las especies con registros que coincidían con las cuadrículas donde existía un BRN, lista a la que se le sustrajeron las especies de las que existía registro en las cuadrículas del área de estudio donde no había BRN.

Fig. 1. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile: contexto del área de estudio.
A: Clasificación de Sudamérica de acuerdo con Morrone (2014, 2015), donde se muestra en verde la región Neotropical (RN); en amarillo, la zona de transición sudamericana (ZT) y en azul, la región Andina (RA). Las líneas grises muestran las cuadrículas de $0,875^{\circ}$. **B:** Localización de los bosques relictos de niebla (BRN) incluidos en este estudio (en rojo). Las líneas grises indican las cuadrículas de $0,125^{\circ}$. **C:** Ubicación de las islas del archipiélago de Juan Fernández.

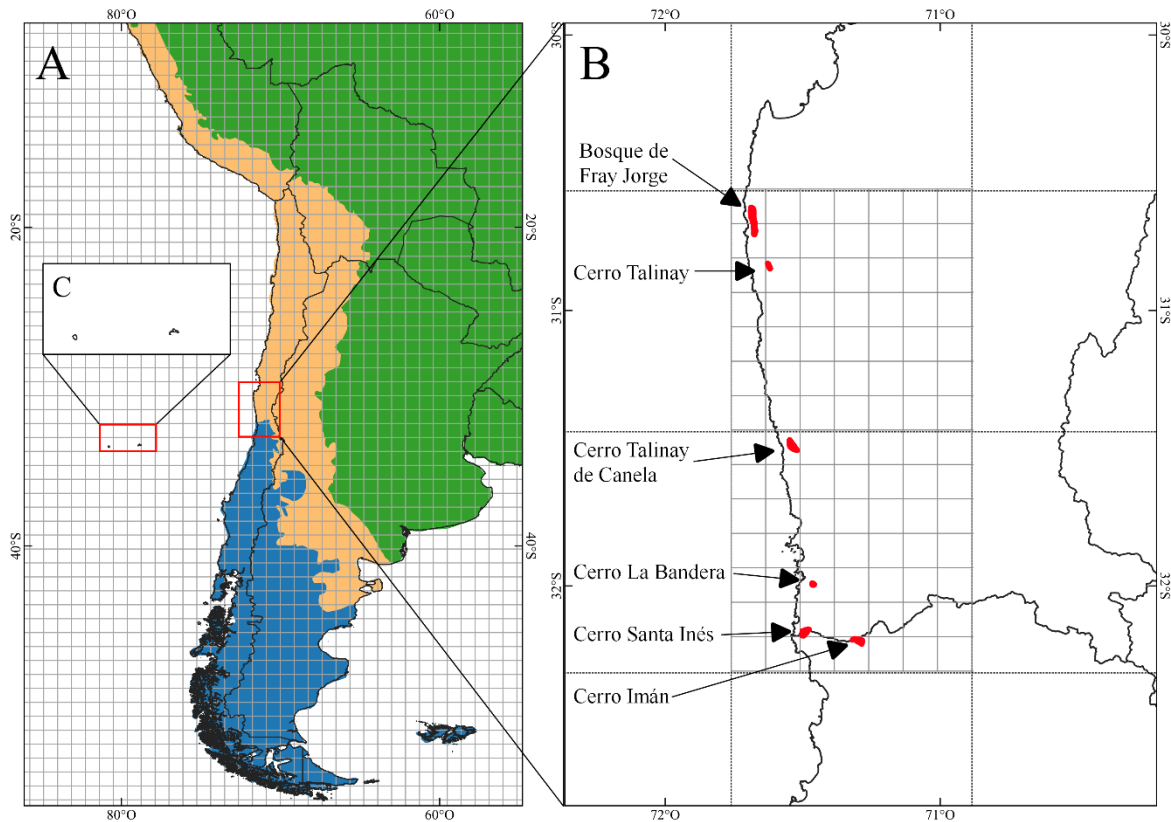
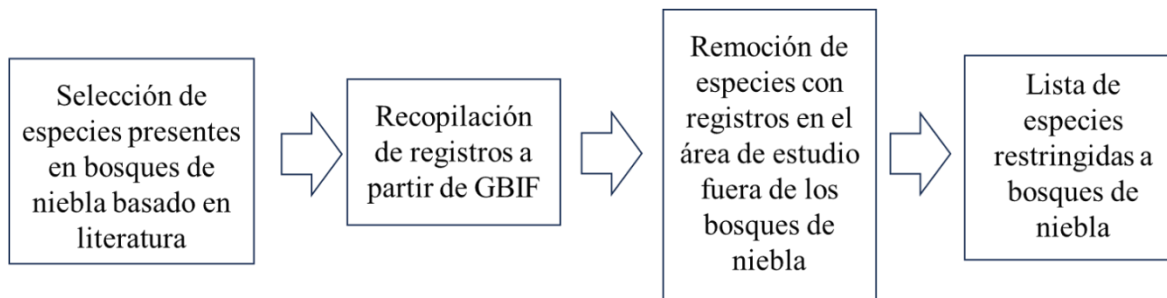


Fig. 2. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile: metodología seguida para obtener a las especies restringidas a los bosques de niebla en el área de estudio.



Frecuencia y grado de disyunción de las especies al nivel intrarregional

Para determinar el grado de aislamiento para las ERBN, se calculó un índice de aislamiento (IA). En este análisis se consideró tanto el número de cuadrículas en las que la especie estaba presente como la distancia entre ellas, utilizando como unidad de medida para esto último el número de cuadrículas. Con estos valores, se implementó la fórmula $1,41/\sqrt{P_i^2 + (P_i/D_i + 1)}$ (Ec. 1) para medir el IA de las especies, donde:

P_i : es la suma de cuadrículas con presencia de la especie i .

D_i : es la suma del número de cuadrículas que separan dos cuadrículas en que se encuentra la especie i , considerando sólo la distancia a la cuadrícula más cercana.

En el caso de que dos cuadrículas separadas no se encuentren en la misma posición en vertical u horizontal, la distancia se calcula con la fórmula $\sqrt{D_h^2 + D_v^2}$, (Ec. 2) en que:

D_h : es la cantidad de cuadrículas de separación en horizontal.

D_v : es la cantidad de cuadrículas de separación en vertical.

Los valores del IA (Ec. 1) tienen un máximo de 1 cuando la especie ha sido registrada en sólo una cuadrícula del área delimitada, los que disminuyen al aumentar el número de cuadrícula en que se encuentra la especie. Sin embargo, una mayor separación entre estas cuadrículas acerca el IA a 1. A pesar de que el bosque de Fray Jorge abarca dos cuadrículas, a las especies registradas acá se las consideró en sólo una cuadrícula, debido a la falta de información exacta y, sobre todo, por la falta de información florística al sur de este bosque.

Disyunción biogeográfica de las especies

Para cuantificar el grado de aislamiento geográfico que tiene cada una de las ERBN del área de estudio respecto de otros tipos de biomas se calculó para cada especie la distancia de la disyunción biogeográfica entre su localización en el área de estudio y cuatro unidades biogeográficas relevantes: la región Andina (RA), la zona de transición sudamericana (ZT), la región Neotropical (RN), el archipiélago de Juan Fernández (JF) y Nueva Zelanda (NZ).

La delimitación de las tres primeras regiones biogeográficas se muestra en la Fig. 1A y sigue a la clasificación de Morrone (2014, 2015) que se modificó para incluir en ella a las regiones administrativas de Antofagasta, Atacama y Coquimbo en la zona de transición sudamericana con el fin de incluir en ella a las especies encontradas al norte de la zona de estudio. A pesar de que el archipiélago de Juan Fernández, Morrone (2015) lo incluye en la región Andina, en este trabajo se lo considera como una unidad biogeográfica independiente.

En el caso que una ERBN se encontrara en cualquiera de esas cinco unidades biogeográficas, se contabilizó la distancia medida en cuadrículas de $0,875^\circ$ (~ 100 km) desde el área de estudio al registro de la especie más cercano en cada uno de los biomas, de manera similar a como se contabilizó la distancia dentro del área de estudio.

No se consideraron en el análisis las especies que crecían en sitios donde se las considera como “introducidas”, tales como *Acaena ovalifolia* en Juan Fernández o *Passiflora pinnatistipula* y *Azara microphylla* en Nueva Zelanda.

RESULTADOS

Especies restringidas a los bosques de niebla (ERBN)

Como resultado de los análisis se encontraron 47 especies que deben ser consideradas como ERBN. Las 47 especies se incluyen en 40 géneros, en 35 familias y en 22 órdenes. La composición taxonómica de las especies se muestra en la Fig. 3. La mayor parte de las familias tienen una o dos especies salvo las Asteraceae (Figs. 5, 6 y 7) y las Piperaceae que tienen tres. Entre los géneros, destaca *Peperomia* (Piperaceae), también con tres especies.

En cuanto al tipo de hábito, el más frecuente es el de hierba perenne (19 spp), seguido por el de arbusto (10 spp) y el modo epífita (7 spp); algo menos frecuente fueron los de hierba anual (5 spp), de árbol y de trepadora con 3 spp. Los porcentajes por tipo de hábito se muestran en la Fig. 4.

Una lista de las especies, así como los valores calculados para los indicadores se incluyen en el Apéndice 1.

Fig. 3. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile: composición de los principales grupos taxonómicos de las especies restringidas a bosques de niebla (ERBN). La terminología de los grupos sigue a Cantino et al. (2007).

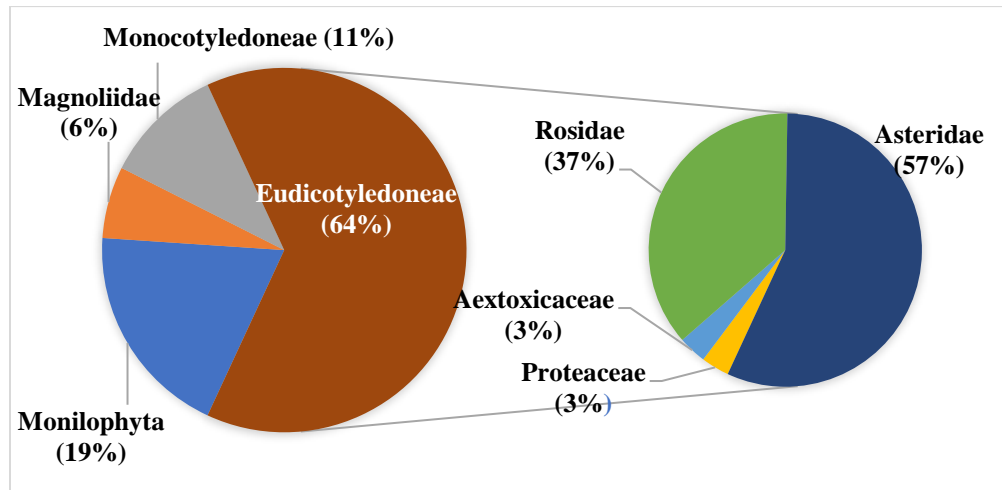
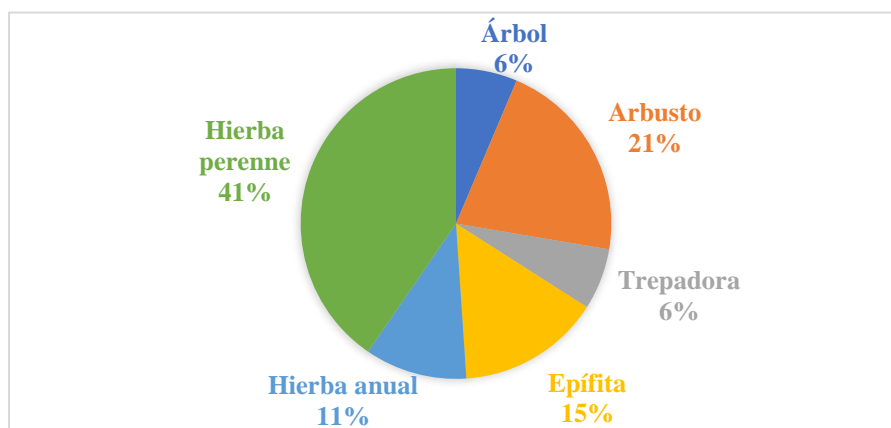


Fig. 4. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile: hábito de las especies restringidas a los bosques de niebla (ERBN).



**Fig. 5. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Moscharia solbrigii, capítulos. Fotografía: S. Ibáñez.**



**Fig. 6. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Senecio planiflorus, parte superior de la planta. Fotografía: S. Ibáñez.**



Fig. 7. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:

Senecio brunonianus, hábito. Fotografía: S. Ibáñez.



Frecuencia y grado de disyunción geográfica a escala intrarregional

Entre las especies clasificadas como restringidas a los bosques de niebla, 19 se registraron en una sola cuadrícula alcanzando así el valor máximo del índice IA; diez, se registraron en el bosque de Fray Jorge; seis, en el cerro Santa Inés; dos, en el cerro Imán y una, en el cerro Talinay.

Las especies con el segundo valor más alto del IA fueron *Carex trichocarpa* y *Galium araucanum*, que crecen tanto en el bosque de Fray Jorge como en el del cerro Santa Inés, con un valor de 0,69, y son, al mismo tiempo, las con mayor grado de aislamiento en el área de estudio.

En el otro extremo, *Ribes punctatum* (Fig. 8), fue la especie con el menor valor de IA (0,2803) porque se encontró en todos los BRN, a excepción de los del cerro Imán; seguido por *Aextoxicon punctatum* (Fig. 9) con un valor de 0,2805, que también se encuentra en todos los BRN a excepción del cerro Talinay de Huentelauquén. El puntaje del IA de las especies de cada uno de los bosques estudiados se muestra en la Fig. 10.

En relación con las localidades, el bosque de Fray Jorge es el que alberga la mayor cantidad de especies restringidas a los bosques de niebla, 37, seguido por los bosques de los cerros Talinay y Santa Inés con 23 y el Talinay de Huentelauquén con 11. Las localidades con menor cantidad de ERBN son el cerro La Bandera (*Aextoxicon punctatum*, *Senega gnioides* (Fig. 11) y *Ribes punctatum*) y el cerro Imán (*A. punctatum*, *Myrceugenia obtusa* y *Loasa acerifolia*). La riqueza de

especies consideradas como ERBN por bosque se muestra en la Fig. 10.

Dos especies solamente se consideran como endemismos restringidos a los bosques de niebla:

Peperomia coquimbensis (Fig. 12) y *Calceolaria georgiana* (Fig. 13); ambas de los bosques de Fray Jorge y Talinay.

Fig. 8. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:

***Ribes punctatum*, inflorescencias. Fotografía: S. Ibáñez.**



Fig. 9. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
interior de bosque de *Aextoxicon punctatum* en el cerro Santa Inés (arriba a la izquierda), flores
estaminadas (arriba derecha), flores carpeladas (abajo izquierda), frutos (abajo derecha).

Fotografías: S. Ibáñez.

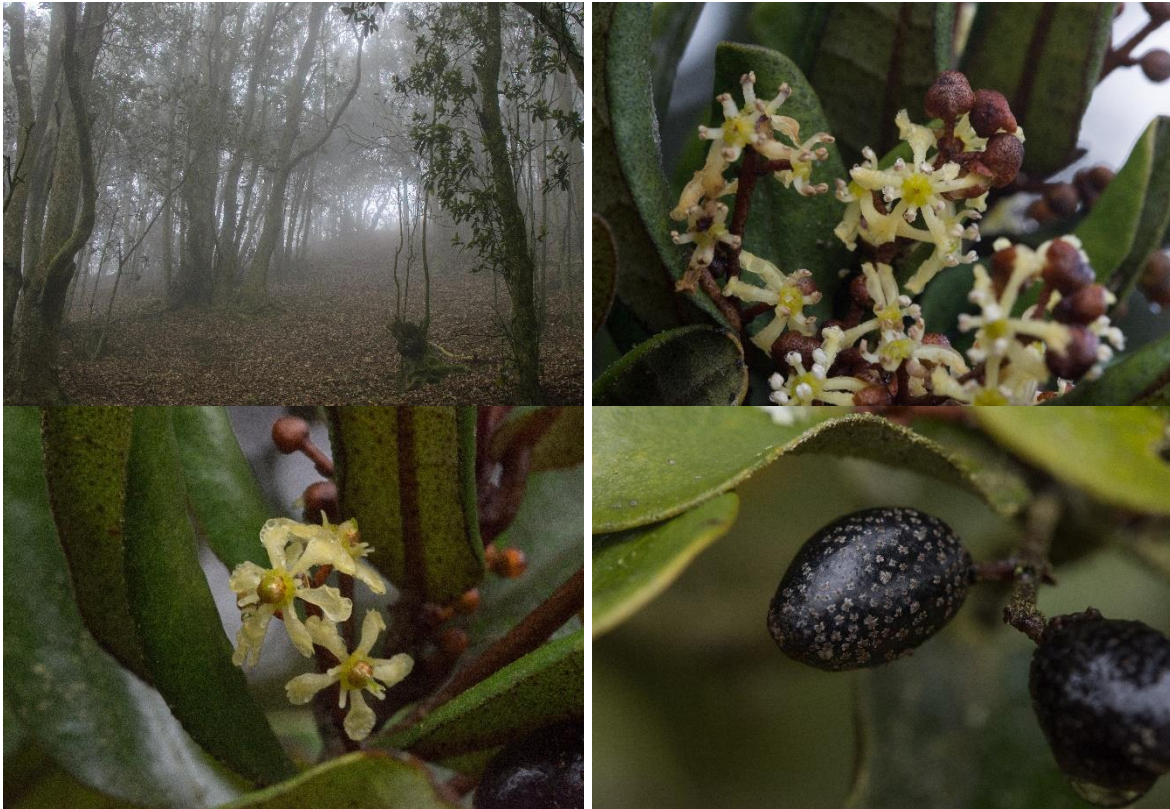


Fig. 10. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile: riqueza en cada bosque y el valor del índice de aislamiento geográfico para cada una de las ERBN encontradas en cada bosque. Las barras representan la riqueza y los puntos rojos representan el valor del IA de todas las ERBN encontradas en el bosque respectivo; FJ: Fray Jorge; TA: Talinay; TH: Talinay de Huentelauquén; LB: cerro La Bandera; SI: cerro Santa Inés; CI: cerro Imán.

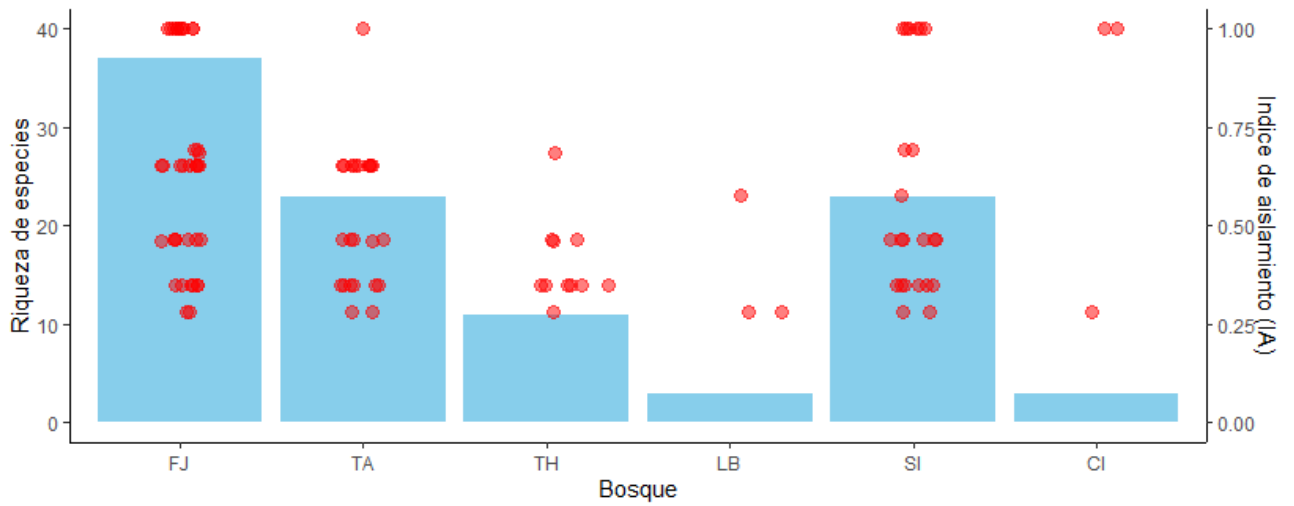


Fig. 11. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile: *Senega gnioides*, detalle de las flores. Fotografía: S. Ibáñez.



Fig. 12. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Peperomia coquimbensis, hábito de la planta. Fotografía: S. Ibáñez.



Fig. 13. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile: *Calceolaria georgiana*,
hábito de la planta. Fotografía: S. Ibáñez.



Disyunción biogeográfica de las especies

No se encontró ninguna especie que creciera en todas las zonas biogeográficas que se consideraron en el análisis. Existen ocho que lo hacen en tres de las regiones, la Neotropical, la Andina, y Juan Fernández.

Hymenophyllum peltatum y *Ruhmora adiantiformis* se registran en Nueva Zelanda, pero la primera de ellas no se encuentra en Juan Fernández y la segunda, no se ha coleccionado en la región Neotropical; debido a su registro en Nueva Zelanda, ambas especies de helechos tienen, en promedio, el mayor grado de disyunción. A ellos los siguen dos helechos, *Asplenium dareoides* (Fig. 17) por la distancia que existe entre la zona de estudio y la región Neotropical (33,96), ya que se trata de una especie que crece en el bosque de Fray Jorge y luego no lo hace hasta Ecuador; e *Hypolepis rugosula*, que alcanza también una distancia importante con las poblaciones disyuntas que se ubican en el litoral atlántico de Sudamérica.

Cinco especies registran distancias que van de 16,55 a 13,89 respecto de la región Neotropical, estas son, *Dysopsis glechomoides* (Fig. 18), *Acaena ovalifolia*, *Hymenophyllum peltatum*, *Passiflora pinnatistipula* (Fig. 19) y *Nertera granadensis* (Fig. 20), plantas que crecen también en la provincia de las Yungas en los Andes de Perú y de Bolivia. *Carex phleoides* e *Hypolepis poeppigii* (Fig. 21), ambas con una distancia de seis cuadrículas, también se registran en la provincia de las Yungas, pero alcanzan hasta Argentina, por lo que registran una menor distancia de disyunción.

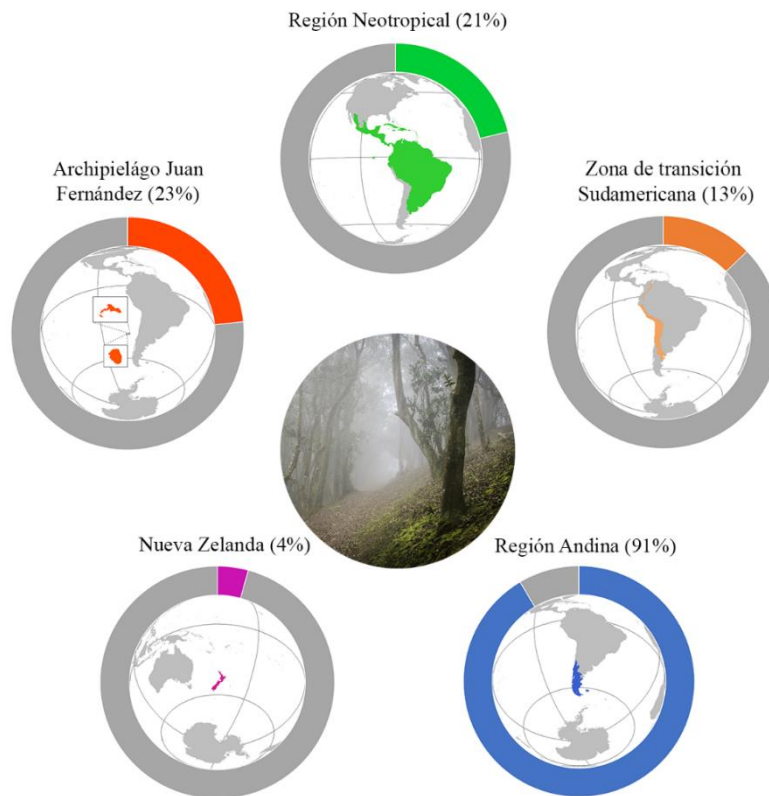
Once especies son compartidas con el archipiélago de Juan Fernández, la mayor distancia la registró *Nertera granadensis* (11,18) pues cubre la distancia que hay entre el cerro Talinay y la isla Alejandro Selkirk, la más alejada del continente. En cuanto a las otras especies, aquellas compartidas entre el continente y el archipiélago se encuentran en la isla Robinson Crusoe. Por último, seis especies se comparten con la zona de transición sudamericana. Cuatro de ellas crecen en cuadrículas adyacentes (al norte de la Región de Coquimbo), mientras que *Loasa sclareifolia* también se ha registrado en la Región de Atacama y *Castilleja laciniata* (Fig. 22) sólo se ha reportado hacia el norte en el oasis de niebla de Paposos (Philippi, 1860).

Grado de disyunción geográfica entre poblaciones de la misma especie

En cuanto al grado de aislamiento geográfico de las poblaciones de las especies restringidas a los bosques de niebla respecto de las poblaciones de la misma especie que crecen en otros biomas (Fig. 14), 43, se comparten con la región biogeográfica Andina, de las que 23 no están verdaderamente aisladas ya que tienen una presencia continua en las cuadrículas adyacentes al área de estudio y seis,

no tienen más que una cuadrícula de separación. *Peperomia nummularioides* (Fig. 15) es la especie que muestra el mayor grado de disyunción geográfica entre el área de estudio y la región Andina, ya que crece en el bosque de Fray Jorge y luego lo hace, sin ninguna continuidad, en la Región de los Ríos; a ella la siguen, *Peperomia fernandeziana* (Fig. 16), registrada en el cerro Santa Inés y luego en la Región de los Ríos y *Gaultheria marticensis*, registrada en el bosque de Fray Jorge y luego, de manera discontinua, en la localidad de Lebu, Región del Biobío.

Fig. 14. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile: porcentaje de especies compartidas entre cada zona biogeográfica y los bosques relictos de niebla (BRN).



**Fig. 15. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Peperomia nummularioides, hábito de la planta. Fotografía: S. Ibáñez.**



**Fig. 16. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Peperomia fernandeziana, hábito de la planta. Fotografía: S. Ibáñez.**



Fig. 17. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Asplenium dareoides, hábito de la planta. Fotografía: S. Ibáñez.



Fig. 18. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Dysopsis glechomoides, hojas. Fotografía: S. Ibáñez.



Fig. 19. *Passiflora pinnatistipula*, flores. Fotografía: S. Ibáñez.



Fig. 20. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Nertera granadensis, flor. Fotografía: S. Ibáñez.



**Fig. 21. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Hypolepis poeppigi, hábito de la planta. Fotografía: S. Ibáñez.**



**Fig. 22. Especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile:
Castilleja laciniata, parte superior de la planta. Fotografía: S. Ibáñez.**



DISCUSIÓN

Villagrán & Armesto (1980) reportan 93 especies que crecen en los bosques relictos del norte de Chile que se comparten, a su vez, con otros biomas. De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, un 51% de dichas especies son las que aquí se consideran como “especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile” (ERBN); el otro 49 % lo integran las especies que también crecen en otros tipos de ecosistemas, también relictos, pero no dependientes de las nieblas.

El porcentaje de especies de tipo ERBN es menor si se lo compara con la flora total reportada para la superficie de los BRN, debido que los muestreos en dichas áreas incluyen con frecuencia a la flora xerofítica de carácter zonal. Por ejemplo, en el P.N. Fray Jorge se han registrado 209 especies, (Arancio et al., 2004b), incluyendo tanto las de los matorrales xerofíticos como las de los bosques, por ello solo un 18% son propiamente ERBN; del mismo modo, para el cerro Santa Inés se han registrado 71 especies (François, 2004), de ellas, un 32% corresponde a ERBN.

Si bien no existe un grupo taxonómico particularmente diverso, es interesante la presencia de *Peperomia* (Piperaceae) en los BRN, aunque se trata de un género con sólo cuatro especies en Chile continental, tres de ellas crecen en estos bosques y son del tipo ERBN; *Peperomia* está formado por plantas generalmente epifitas que son elementos importantes en los bosques neotropicales. Un caso similar al que representan las Gesneriaceae (Holtum et al., 2007; Zotz et al., 2021), también escasa en Chile, pero presente en los BRN con especies como *Mitraria coccinea* y *Sarmienta scandens*. Las ERBN de la familia Asteraceae, son, al parecer, son especies originadas en las zonas áridas de Chile que han ocupado los márgenes de los BRN y no corresponderían a verdaderos relictos; ejemplos de ello son, *Moscharia solbrigii*, *Senecio brunonianus* y *S. planiflorus*; la primera crece en Fray Jorge y otros sitios con alta influencia de la niebla al norte de la Región de Coquimbo y existen antecedentes que proponen que el género se habría originado en Chile central (Katinas & Crisci, 2000); en relación con las especies de *Senecio*, no existe certeza del origen de las especies de del área, los grupos morfológicos de ambas especies establecidos por Cabrera (1949), las subsecciones *Auriculati* y *Adenotrichi*, respectivamente, incluyen especies de zonas semiáridas a hiperáridas de Chile, pero existen varias especies presentes en los oasis de niebla. Algo similar se observa en *Calceolaria georgiana*, ya que pertenece al complejo de *C. integrifolia* s. l. endémico de Chile central (Ehrhart, 2005), por lo que esta especie habría colonizado estos ambientes más húmedos. Entre las regiones biogeográficas estudiadas, las ERBN muestran una mayor relación con la región Andina. La similitud que se obtuvo en los resultados respalda la relación de los BRN con los bosques templados del sur de Chile. Sin embargo, casi la mitad de las ERBN no muestran una

disyunción con poblaciones más australes, debido a que tienen una distribución continua hacia el sur. Estas especies crecen en quebradas de localidades con condiciones hídricas similares a las observadas en los BRN, especialmente en los alrededores de Zapallar y en el sistema de los cerros El Roble y La Campana. La similitud florística entre ciertos BRN del norte de Chile (Fray Jorge, Talinay, Huentelauquén y Pichidangui) y los bosques relictos del centro (Zapallar, Quebrada de Córdoba y Quebrada El Roble) ya había sido registrada por Villagrán & Armesto (1980), los que postulan que los BRN del norte y centro de Chile comparten una mayor similitud entre sí que con los bosques australes, sugiriendo su posible origen durante el Terciario. Por otro lado, muchas de las ERBN distribuidas en la zona de transición sudamericana se encontraron creciendo en hábitat con influencia de la niebla, tales como el cerro El Tofo (29°27'S), donde se encuentran *Senecio brunonianus* y *Moscharia solbrigii*, o en Paposó (25°0'S), donde se registra a *Castilleja laciniata* (Fig. 22) y *Fuertesimalva peruviana*.

La presencia de las especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile pone en relieve la importancia para la conservación que tienen los bosques relictos de niebla, sobre todo en aquellas localidades con alta representación de dichas especies, tales como los bosques de Fray Jorge, Talinay y del cerro Santa Inés.

A la luz de los resultados es necesario priorizar, en los esfuerzos de la conservación, a las especies que se identificaron con altos grados de disyunción geográfica. A pesar de que algunas de las especies como el helecho *Asplenium dareoides* tienen una distribución muy amplia, que va desde Ecuador hasta el sur de la Región de Magallanes, los altos grados de disyunción comunicados en este trabajo para las poblaciones de la Región de Coquimbo permiten inferir que existe en ellas una importante singularidad genética respecto de las otras poblaciones. Por último, es posible que la escasez de ERBN en localidades como el cerro Talinay de Huentelauquén, el cerro Bandera o el cerro Imán, se deba a que el muestreo que se ha llevado a cabo en dichos sitios fue menos intenso y tampoco se contó con suficientes ejemplares en los herbarios que provengan de dichos, por lo que para diagnosticar de mejor manera su flora, será necesario continuar visitándolos y coleccionando para que estén mejor representados en los herbarios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Jimena Arriagada y Víctor Ardiles del Museo Nacional de Historia Natural por su buena recepción al herbario y sus colecciones, y a Sebastián Teillier por impulsar esta publicación y su minuciosa revisión.

El tiempo y partes de los datos son gracias a un convenio con el Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANCIO, G., P. JARA, C. MARTICORENA, & F. A. SQUEO. 2004. Flora de las cumbres de la Cordillera de la Costa en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. En F. A. SQUEO, J. R. GUTIÉRREZ, & I. R. HERNÁNDEZ (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, pp. 71-92. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- ARANCIO, G., P. JARA, F. A. SQUEO, & C. MARTICORENA. 2004. Riqueza de especies de plantas vasculares en los Altos de Talinay, Parque Nacional Bosque Fray Jorge, en F. A. SQUEO, J. R. GUTIÉRREZ, & I. R. HERNÁNDEZ (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, pp. 189-204. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- CABRERA, A. L. 1949. El Género *Senecio* en Chile. Lilloa 15: 27–501.
- CANTINO, P. D., J. A. DOYLE, S. W. GRAHAM, W. S. JUDD, R. G. OLMSTEAD, D. E.
- SOLTIS, P. S. SOLTIS, & M. J. DONOGHUE. 2007. Towards a phylogenetic nomenclature of Tracheophyta. Taxon 56(3): 822–846.
- CONAF. 1998. Plan de manejo Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Documento de trabajo N°297.
- DI CASTRI, F., & E. R. HÁJEK. 1976. Bioclimatología de Chile. Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile.
- DIAS, E. F., M. MOURA, H. SCHAEFER, & L. SILVA. 2016. Geographical distance and barriers explain population genetic patterns in an endangered island perennial. AoB PLANTS 8: 1–17. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw072>
- EHRHART, C. 2005. The Chilean *Calceolaria integrifolia* s. l. species complex (Scrophulariaceae). Systematic Botany 30(2): 383–411.
- FRANCOIS, J. P. 2004. Eslabones de una cadena rota: el caso del bosque relictos de Santa Inés, en F. A. SQUEO, J. R. GUTIÉRREZ, & I. R. HERNÁNDEZ (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Bosque de Fray Jorge, pp. 205–218. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- GBIF.ORG. 2023. GBIF Occurrence Download.
- HIJMANS, R. J., S. PHILLIPS, J. LEATHWICK, & J. ELITH. 2022. R package ‘dismo’: Species distribution modelling (Version 1.3-8).
- HOLTUM, J. A. M., K. WINTER, M. A. WEEKS & T. R. SEXTON. 2007. Crassulacean acid metabolism in the ZZ plant, *Zamioculcas zamiifolia* (Araceae). American Journal of Botany 94(10): 1670–1676. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.10.1670>
- KATINAS, L., & J. V. CRISCI. 2000. Cladistic and biogeographic analyses of the genera *Moscharia* and *Polyachyrus* (Asteraceae, Mutisieae). Systematic Botany 25(1): 33–46.

- MALDONADO, A., & C. VILLAGRÁN. 2001. Historia del bosque pantanoso de Ñague, costa de Los Vilos (IV Región, Chile) y sus relaciones con los cambios paleoambientales de los últimos 5.300 años A. P., en F. A. SQUEO, G. ARANCIO, & J. R. GUTIÉRREZ (eds.), Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo, pp. 261–272. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- MARTICORENA, C., F. A. SQUEO, G. ARANCIO, & M. MUÑOZ. 2001. Catálogo de la flora vascular de la IV Región de Coquimbo., en F. A. SQUEO, G. ARANCIO, & J. R. GUTIÉRREZ (eds.), Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo, pp. 105–142. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- MORENTE-LÓPEZ, J., C. GARCÍA, C. LARA-ROMERO, A. GARCÍA-FERNÁNDEZ, D. DRAPER, & J. M. IRIONDO. 2018. Geography and environment shape landscape genetics of mediterranean alpine species *Silene ciliata* Poiret. (Caryophyllaceae). *Frontiers in Plant Science* 9: 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01698>
- MORRONE, J. J. 2014. Biogeographic regionalisation of the Neotropical region. *Zootaxa* 3782(1): 1–110. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3782.1.1>
- MORRONE, J. J. 2015. Biogeographical regionalisation of the Andean region. *Zootaxa* 3936(2): 207-236. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3936.2.3>
- NÚÑEZ-ÁVILA, M. C., & J. J. ARMESTO. 2006. Relict islands of the temperate rainforest tree *Aextoxicon punctatum* (Aextoxicaceae) in semi-arid Chile: Genetic diversity and biogeographic history. *Australian Journal of Botany* 54: 733–743. <https://doi.org/10.1071/BT06022>
- PÉREZ, C., & C. VILLAGRÁN. 1994. Influencia del clima en el cambio florístico, vegetacional y edáfico de los bosques de “olivillo” (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) de la Cordillera de la Costa de Chile: implicancias biogeográficas. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 77–90.
- PÉREZ, C., & C. VILLAGRÁN. 1985. Distribución de abundancias de especies en bosques relictos de la zona mediterránea de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 58: 157–170.
- PHILIPPI, R. A. 1860. Viage al desierto de Atacama. Halle en Sajonia, Librería de Eduardo Anton. 236 pp.
- SCHAAL, B. A., D. A. HAYWORTH, K. M. OLSEN, J. T. RAUSCHER, & W. A. SMITH. 1998. Phylogeographic Studies in Plants. *Molecular Ecology* 7: 465–474.
- SQUEO, F. A., G. ARANCIO, & L. A. CAVIERES. 2001. Sitios Prioritarios para la Conservación de la Flora Nativa con Riesgos de Extinción en la IV Región de Coquimbo, Chile, en F. A. SQUEO,

- G. ARANCIO, & J. R. GUTIÉRREZ (eds.), Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo, pp. 171–193. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- TRONCOSO, A., C. VILLAGRÁN, & M. MUÑOZ. 1980. Una nueva hipótesis acerca del origen y edad del bosque de Fray Jorge (Coquimbo, Chile). *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 37: 117–152.
- VILLAGRÁN, C., & J. J. ARMESTO. 1980. Relaciones florísticas entre las comunidades relictuales del norte chico y la zona central con el bosque del sur de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 37: 87–101.
- VILLAGRÁN, C., J. J. ARMESTO, L. F. HINOJOSA, J. CUVERTINO, C. PÉREZ, & C. MEDINA. 2004. El enigmático origen del bosque relicto de Fray Jorge, en F. A. SQUEO, J. R. GUTIÉRREZ, & I. R. HERNÁNDEZ (eds.), *Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge*, pp. 3–43. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- ZOTZ, G., P. WEIGELT, M. KESSLER, H. KREFT & A. TAYLOR. 2021. EpiList 1.0: a global checklist of vascular epiphytes. *Ecology* 102(6). <https://doi.org/10.1002/ecy.3326>
- ZUÑIGA, J. 1979. Fray Jorge: Un relicto boscoso natural de probable origen terciario en el Norte Chico de Chile. *Atenea* 440: 11-37.

Citar este trabajo como:

Ibáñez, S. & C. Pañitrur. 2023. Evaluación de aislamiento geográfico y priorización para la conservación de las especies de los bosques relictos de niebla del norte de Chile. *Chloris Chilensis* Año 25. N.º 2: 55-83. URL: [http:// www.chlorischile.cl](http://www.chlorischile.cl)

Apéndice 1. Lista de las especies clasificadas como especies “restringidas a los bosques relictos de niebla” (ERBN).

Especie	Forma de vida	Distribución biogeográfica					Promedio	Distribución intrarregional							Total presencia	Total distancia de presencias	Índice de Aislamiento
		ZT	RN	RA	JF	NZ		FJ	TA	TH	LB	SI	CI				
MONILOPHYTA																	
Aspleniaceae																	
<i>Asplenium dareoides</i>	EP	-	33.96	5.00	9.06	-	16.00	1	1	-	-	1	-	3.00	12.00	0.47	
Blechnaceae																	
<i>Blechnum hastatum</i>	HP	-	-	0.00	9.06	-	4.53	1	1	1	-	1	-	4.00	11.00	0.35	
Dennstaedtiaceae																	
<i>Hypolepis poeppigii</i>	HP	-	6.00	0.00	9.22	-	5.07	-	1	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00	
<i>Hypolepis rugosula</i>	HP	-	19.00	4.00	9.22	-	10.74	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65	
Dryopteridaceae																	
<i>Megalastrum spectabilis</i>	HP	-	-	3.00	9.22	-	6.11	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65	
<i>Rumohra adiantiformis</i>	HP	-	-	6.00	9.06	125.14	46.73	1	-	1	-	-	-	2.00	7.00	0.69	
Hymenophyllaceae																	
<i>Hymenophyllum peltatum</i>	EP	-	15.81	5.00	-	125.20	48.67	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65	
Polypodiaceae																	
<i>Synammia feuillei</i>	EP	-	-	0.00	-	-	0.00	1	1	-	-	1	-	3.00	12.00	0.47	
Pteridaceae																	
<i>Pteris chilensis</i>	HP	-	-	0.00	9.06	-	4.53	-	-	-	-	1	-	1.00	0.00	1.00	
MAGNOLIIDAEE																	
Piperaceae																	
<i>Peperomia coquimbensis</i>	EP	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65	

<i>Peperomia fernandeziana</i>	EP	-	-	9.00	9.06	-	9.03	1	1	1	-	1	-	4.00	11.00	0.35
<i>Peperomia nummularioides</i>	EP	-	-	10.00	-	-	10.00	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
MONOCOTYLEDONEAE																
Cyperaceae																
<i>Carex phleoides</i>	HP	-	6.00	0.00	9.22	-	5.07	1	-	-	-	1	-	2.00	12.04	0.69
<i>Carex trichocarpa</i>	HP	-	-	0.00	-	-	0.00	1	1	1	-	1	-	4.00	11.00	0.35
Orchidaceae																
<i>Gavilea longibracteata</i>	HP	-	-	1.00	-	-	1.00	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
Phillesiaceae																
<i>Lapageria rosea</i>	TR	-	-	1.00	-	-	1.00	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
Poaceae																
<i>Chusquea cumingii</i>	HP	-	-	0.00	-	-	0.00	1	-	1	-	1	-	3.00	12.00	0.47
EUDICOTYLEDONEAE																
Aextoxicaceae																
<i>Aextoxicon punctatum</i>	AR	-	-	0.00	-	-	0.00	1	1	-	1	1	1	5.00	12.00	0.28
Apiaceae																
<i>Azorella spinosa</i>	HP	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	-	1	-	1.00	0.00	1.00
Asteraceae																
<i>Moscharia solbrigii</i>	HA	0.00	-	-	-	-	0.00	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
<i>Senecio brunonianus</i>	AU	0.00	-	1.00	-	-	0.50	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
<i>Senecio planiflorus</i>	AU	0.00	-	0.00	-	-	0.00	1	1	1	-	1	-	4.00	11.00	0.35
Boraginaceae																
<i>Cryptantha calycotricha</i>	HA	-	-	1.00	-	-	1.00	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
Brassicaceae																
<i>Cardamine tuberosa</i>	HP	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	-	1	-	1.00	0.00	1.00
Calceolariaceae																
<i>Calceolaria georgiana</i>	AU	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65
Ericaceae																

<i>Gaultheria marticorenae</i>	AU	-	-	8.06	-	-	8.06	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
Euphorbiaceae																
<i>Dysopsis glechomoides</i>	HP	-	16.55	6.00	-	-	11.28	1	1	-	-	1	-	3.00	12.00	0.47
Gesneriaceae																
<i>Mitraria coccinea</i>	TR	-	-	5.00	-	-	5.00	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
<i>Sarmienta scandens</i>	EP	-	-	5.00	-	-	5.00	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65
Griselinaceae																
<i>Griselinia scandens</i>	AU	-	-	4.00	-	-	4.00	1	1	1	-	-	-	3.00	6.00	0.46
Grossulariaceae																
<i>Ribes punctatum</i>	AU	-	-	0.00	-	-	0.00	1	1	1	1	1	-	5.00	10.00	0.28
Loasaceae																
<i>Loasa acerifolia</i>	HA	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	-	-	1	1.00	0.00	1.00
<i>Loasa sclareifolia</i>	HP	2.00	-	1.00	-	-	1.50	1	-	1	-	1	-	3.00	12.00	0.47
Malvaceae																
<i>Corynabutilon bicolor</i>	AU	-	-	3.00	-	-	3.00	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
<i>Fuertesimalva peruviana</i>	HA	0.00	10.00	-	-	-	5.00	1	-	-	-	-	-	1.00	0.00	1.00
Myrtaceae																
<i>Myrceugenia correifolia</i>	AR	-	-	0.00	-	-	0.00	1	1	1	-	1	-	4.00	11.00	0.35
<i>Myrceugenia obtusa</i>	AU	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	-	-	1	1.00	0.00	1.00
Orobanchaceae																
<i>Castilleja laciniata</i>	HA	7.00	-	0.00	-	-	3.50	1	1	-	-	1	-	3.00	12.00	0.47
Passifloraceae																
<i>Passiflora pinnatistipula</i>	TR	-	15.23	0.00	-	-	7.62	-	-	-	-	1	-	1.00	0.00	1.00
Plantaginaceae																
<i>Plantago truncata</i>	HP	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	-	1	-	1.00	0.00	1.00
Polygalaceae																
<i>Senega gnidioides</i>	HP	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	1	1	-	2.00	0.00	0.58
Proteaceae																

<i>Lomatia dentata</i>	AR	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	-	1	-	1.00	0.00	1.00
Rosaceae																
<i>Acaena ovalifolia</i>	HP	-	16.16	4.00	9.22	-	9.79	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65
Rubiaceae																
<i>Galium araucanum</i>	HP	-	-	0.00	-	-	0.00	1	-	-	-	1	-	2.00	12.04	0.69
<i>Nertera granadensis</i>	HP	-	13.89	1.00	11.18	-	8.69	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65
Salicaceae																
<i>Azara microphylla</i>	AU	-	-	4.00	-	-	4.00	1	1	-	-	-	-	2.00	2.00	0.65
Verbenaceae																
<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	AU	-	-	0.00	-	-	0.00	1	1	-	-	1	-	3.00	9.00	0.46

Forma de vida: AR = Árbol, AU = Arbusto, EP = Epífita, HA = Hierba anual, HP = Hierba perenne, TR = Trepadora. Distribución geográfica; ZT = Zona de transición Sudamericana, RN = Región Neotropical, RA = Región Andina, JF = Juan Fernández, NZ = Nueva Zelanda. Distribución intrarregional; FJ = Bosque de Fray Jorge, TA = Talinay, TH = Talinay de Huentelauquén, LB = Cerro La Bandera, SI = Cerro Santa Inés, CI = Cerro Imán.