



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Gobierno de Chile

Protocolo de restauración de corredores biológicos para polinizadores



fmam FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA



Sistema Integrado
de Monitoreo
de Ecosistemas
Forestales Nativos



Protocolo de restauración de corredores biológicos para polinizadores

Elaborado por: Joceline Rose y Sabine Müller-Using
Instituto Forestal, Chile

Publicado por
la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
y
el Ministerio de Agricultura de Chile

Referencia requerida:

Rose, J. y Müller-Using, S. 2021. *Protocolo de restauración de corredores biológicos para polinizadores*. Santiago de Chile, FAO y MINAGRI. <https://doi.org/10.4060/cbo870es>

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o el Ministerio de Agricultura de Chile (MINAGRI), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO o MINAGRI los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO o MINAGRI.

ISBN 978-92-5-133276-4 [FAO]

© FAO y MINAGRI, 2021



Algunos derechos reservados. Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales.; https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es_ES).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO o MINAGRI refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO o MINAGRI. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o MINAGRI. La FAO/MINAGRI no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en español será el texto autorizado".

Toda controversia que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación aplicables serán las del Reglamento de Mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de conformidad con el Reglamento de Arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Fotografía de la cubierta:

©Victor Raimilla Almonacid

Índice

Presentación	VII
Introducción	1
Capítulo 1: Metodología	3
Generación de corredores	3
Pasos metodológicos, variable y <i>softwares</i> utilizados	4
Distribución potencial relativa	4
Variables biofísicas	5
Selección de especie indicadora: moscardón chileno (<i>B. dahlbomii</i>) ...	5
<i>Software</i> utilizado	7
Corredores de mínimo costo	7
Identificación de áreas para la restauración	7
Áreas de estudio	8
Capítulo 2: Resultados	11
Distribución potencial relativa de <i>B. dahlbomii</i>	11
Corredores de mínimo costo y corredores según costo de fricción	13
Identificación de áreas para la restauración en las zonas piloto del SIMEF ..	15
Capítulo 3: Discusión	17
Distribución potencial relativa	17
Variables biofísicas	18
Especie indicadora	19
<i>Software</i> utilizado	20
Corredores de mínimo costo y clasificación de corredores	20
Identificación de áreas para la restauración y flora recomendada	20
Capítulo 4: Recomendaciones	23
Referencias	25
Anexos	27
Anexo I	27
Anexo II	28
Anexo III	30

Figuras

Figura 1: Esquema de la propuesta metodológica para el cálculo de corredores para polinizadores	3
Figura 2: Áreas para la propuesta metodológica	8

Figura 3: Distribución potencial relativa de <i>B. dahlbomii</i> – Región de O'Higgins	11
Figura 4: Distribución potencial relativa de <i>B. dahlbomii</i> – Región de Los Ríos	12
Figura 5: Corredores de mínimo costo (a) y corredores según costo de fricción (b) – Región de O'Higgins	13
Figura 6: Corredores de mínimo costo (a) y corredores según costo de fricción (b) – Región de Los Ríos	14
Figura 7: Corredores para polinizadores según costo de de fricción - Piloto cordón Cantillana Sur	15
Figura 8: Corredores para polinizadores según costo de de fricción Piloto Panguipulli	15

Cuadros

Cuadro 1: Número de observaciones de <i>B. dahlbomii</i>	6
Cuadro 2: Clasificación del costo según fricción	7
Cuadro 3: Contribución relativa de variables biofísicas a los modelos de las regiones de Los Ríos y Región de O'Higgins	12
Cuadro 4: Especies arbóreas y arbustivas recomendadas para la restauración en zonas piloto de SIMEF	16

Abreviaturas y siglas

CBD Convención Internacional de la Biodiversidad
CONAF Corporación Nacional Forestal
CIREN Centro de Información Recursos Naturales
DEM / MDE Modelo digital de elevación
FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GBIF Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad
FMAM Fondo para el Medio Ambiente Mundial
INDAP Instituto de Desarrollo Agropecuario
INFOR Instituto Forestal
SIMEF	... Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos



El Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de los Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF) es una iniciativa impulsada por los ministerios de Agricultura y de Medio Ambiente, ejecutada por el Instituto Forestal (INFOR) y coejecutada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Centro de Información en Recursos Naturales (CIREN). Cuenta con el apoyo y la supervisión de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y el Estado chileno.

Este proyecto nacional responde a la necesidad de contar con Información integrada, estandarizada y actualizada sobre los ecosistemas forestales nativos de Chile, para lo cual se estableció un modelo de trabajo interinstitucional coordinado entre CONAF, CIREN e INFOR.

Su objetivo es apoyar con Información actualizada para la toma de decisiones que aporten al uso sostenible de los recursos forestales nativos, y contribuir a una mejor calidad de vida de las comunidades que cohabitan con el bosque y de la sociedad en su conjunto.

A cuatro años de ejecución de la Iniciativa SIMEF, uno de los logros es haber ampliado en superficie la cobertura del Inventario Forestal Nacional, que ahora cubre más de 14 millones de hectáreas e incorpora territorios inexplorados de las islas al sur de Chiloé. A su vez, se expandió la concepción de inventario y monitoreo, incluyendo, junto con las dimensiones biofísicas, los componentes socioeconómicos y de biodiversidad que son consustanciales a los bosques nativos.

Otros logros sustantivos fueron la actualización y mejora de la metodología de evaluación del cambio de uso de la tierra, reduciendo su ciclo de actualización de cinco a dos años, lo que permitió, entre otras materias, dar una respuesta más eficiente a los compromisos internacionales de Chile en materia de cambio climático, y al mismo tiempo elaborar protocolos y manuales consensuados.

De esta manera, SIMEF pone al país a la vanguardia del conocimiento de sus bosques y ecosistemas forestales permitiendo evaluar, entre otros, el stock de carbono, así como los cambios y proyecciones del mismo en el tiempo, materia de alta trascendencia ante la situación que afecta al planeta.

La presente publicación refleja parte de las actividades y resultados alcanzados durante estos cuatro años de trabajo del SIMEF y pretende ser un aporte para la consolidación de un sistema de monitoreo de los ecosistemas forestales nativos de Chile.



La polinización es reconocida como una función ecosistémica esencial para la conservación y productividad de los ecosistemas naturales y artificiales (FAO, 2017). Sin embargo, en muchos lugares del mundo esta función ha sido alterada por la disminución de “agentes polinizadores” a escala local y regional debido a factores como la intensificación de la producción agrícola, la fragmentación de paisajes naturales, la introducción de especies exóticas, entre otros.

Un reciente informe sobre especies polinizadoras en Chile destaca su importante rol en la propagación de las plantas vasculares (nativas o no nativas) y para la mayoría de los cultivos agrícolas (FAO, 2017), describiéndose, aproximadamente, 203 especies asociadas a estos últimos y, aproximadamente, 450 especies de abejas nativas, 256 de moscas, 14 lepidópteros, 17 escarabajos y 11 especies de picaflones asociadas a plantas vasculares. Estudios de proyección indican que probablemente existan muchísimas más especies vinculadas a esta importante función ecosistémica.

Para cumplir adecuadamente la función de polinización, las especies necesitan, durante todo el período vegetativo, una cierta variedad de plantas vasculares y un rango de distancia de unos pocos kilómetros. Además, muchos polinizadores dependen de lugares naturales o semi-naturales para poder encontrar refugio, nidificar y reproducirse.

Con el fin de aumentar la extensión y la conectividad de hábitats, la Convención Internacional de la Biodiversidad (CBD, 2016) recomienda promover hábitats amigables para polinizadores. A través de la conservación, manejo y restauración de ecosistemas naturales, así como de la diversificación de sistemas productivos.

Reconociendo el importante rol de la polinización en la regeneración de los bosques nativos, este documento presenta una propuesta metodológica basada en corredores biológicos donde se puedan iniciar acciones de restauración de bosques nativos, las cuales, además de facilitar el proceso de recuperación de los bosques, ayuden a la conservación de la biodiversidad y de especies polinizadoras en Chile.

Capítulo 1 Metodología

Generación de corredores

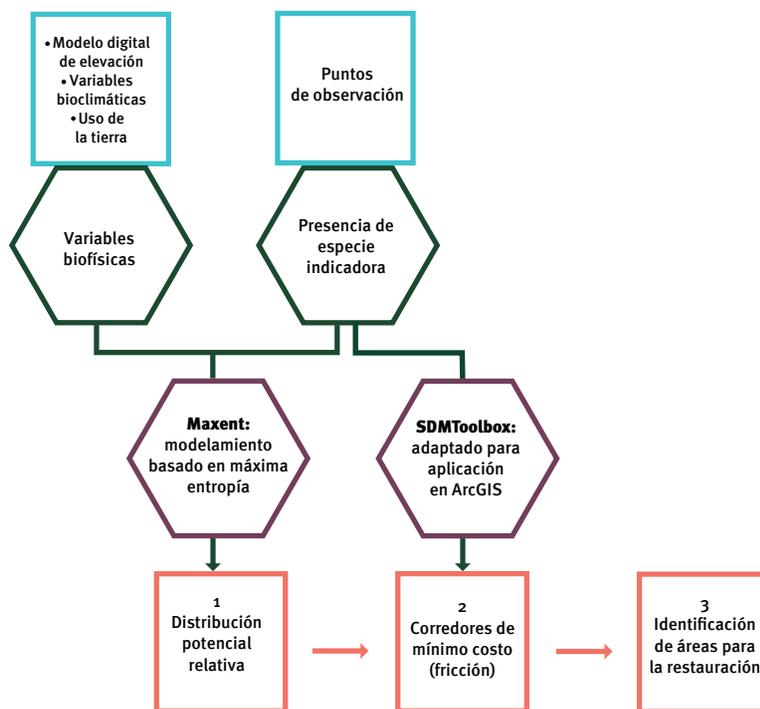
La propuesta está basada en un análisis espacialmente explícito para el cálculo de corredores biológicos, la cual combina información proveniente de modelos de distribución espacial de especies indicadoras o de interés e información ambiental relacionada con variables bioclimáticas, de geomorfología (elevación) y usos de la tierra. La Figura 1 presenta un esquema de la propuesta metodológica, en el cual se especifican los pasos, datos y *software* utilizados.

La propuesta consiste en tres pasos fundamentales:

- (1) La generación de la distribución potencial relativa para la especie de interés.
- (2) El cálculo de corredores.
- (3) La identificación de áreas potenciales para la restauración.

Si bien la identificación de estas áreas para el inicio de las acciones de restauración son propuestas para las zonas piloto del Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos (<https://simef.minagri.gob.cl/>), el desarrollo metodológico tiene una aproximación a escala regional, dadas las limitaciones metodológicas asociadas principalmente a la especie utilizada como indicadora.

Figura 1: Esquema de la propuesta metodológica para el cálculo de corredores para polinizadores



Fuente: Rose, 2019.

Pasos metodológicos, variables y *softwares* utilizados

Distribución potencial relativa

El primer paso es la modelación de la distribución potencial relativa de una especie indicadora. Esto se basa en el éxito predictivo de la presencia de la especie a partir del cruce de información biofísica y de su observación.

Se aplicó un procedimiento denominado técnica *jackknife* ('dejar uno afuera') desarrollado y validado para modelamientos con muestreos reducidos de entre 5 y 25 observaciones (Pearson *et al.*, 2007). Esta técnica se basa en el desarrollo de n modelos, número que equivale a la cantidad de observaciones de la especie. Cada modelo se calcula con $n-1$ observaciones y la eficiencia predictiva del modelo se califica de acuerdo con la habilidad de pronosticar correctamente la observación excluida de los datos. Aparte de la tasa de éxito de pronóstico, también ingresa a la estadística de evaluación la proporción de área pronosticada por cada modelo:

$$D = \sum X_i (1 - P_i)$$

Donde:

X_i = Tasa de éxito y P_i = Proporción de área pronosticada.

Pearson *et al.* (2007) facilitan un calculador para el valor de probabilidad P y de la tasa de éxito final. Para ello, suma la tasa de éxito y la proporción de área pronosticada exhaustivamente, por cada modelo desarrollado. Los resultados del procedimiento de calibración se encuentran en el Anexo II (p. 28).

Para reducir los efectos de *overfitting*, es decir, de una predicción demasiado estricta y limitada alrededor de los puntos de observación, se realizan multiplicadores de regularización de 2,0 (Radosavljevic y Anderson, 2014).

Cabe señalar que la distribución potencial relativa no indica la presencia real de la especie, sin embargo, señala áreas en las cuales se encuentran condiciones favorables para sobrevivir, como bioclimáticas, de elevación y cobertura de suelo.

El desarrollo del modelo regional de distribución potencial se basa en variables biofísicas y datos de observación de una especie indicadora. A continuación, se presentan detalles de estas variables y sus limitaciones.

VARIABLES BIOFÍSICAS

En el modelo espacial se consideraron las siguientes variables biofísicas:

- a) Modelo digital de elevación (DEM) de Chile con resolución de 60 m.
- b) Uso de la tierra, proveniente de la última actualización regional del Catastro Vegetacional de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

En el caso de las coberturas de uso de la tierra se utilizaron las actualizaciones de 2013 para la Región de O'Higgins, de 2015 para la Región del Biobío (nueva Región de Ñuble) y de 2014 para la Región de Los Ríos. Mientras que todas las otras variables entran a la modelación como variables con valores continuos, las capas de uso de la tierra se consideran como variables categóricas con valores íntegros según el código de uso de suelo (códigos entre 1 y 8). La red vial no se incluyó por el efecto de sesgo ambiental que tiene la capa sobre el resultado de modelamiento (Reddy y Dávalos, 2003; Araújo y Guisan, 2006).

- c) Variables bioclimáticas basadas en promedios de los años 1970-2000, con una resolución de 1 km (Fick y Hilman, 2017), especificados en Anexo I (p. 27).

Selección de especie indicadora: moscardón chileno (*B. dahlbomii*)

Considerando que un modelamiento espacialmente explícito no se puede realizar para un grupo de especies, se seleccionó como especie indicadora al moscardón chileno (*Bombus dahlbomii*). Este representante de los polinizadores, cumple con las siguientes exigencias:

1. Su área de distribución se extiende desde la Región de Valparaíso hasta Tierra del Fuego (MMA, 2016), cubriendo todas las zonas con pilotos territoriales del SIMEF.
2. Es una especie asociada al bosque nativo: no existen estudios sobre el hábitat de *B. dahlbomii*, pero hay evidencia de que necesita sitios de nidificación, hibernación y forrajeo (alimentación). Requiere de nidos construidos previamente y abandonados por otros animales o de cavidades preexistentes, que estén no arados y protegidos, lo cual suele ocurrir en áreas naturales o seminaturales. Para tener éxito en la fase de hibernación, es clave la disponibilidad de alimento a fines de la temporada, ya que depende en parte de la cantidad de néctar y polen que ingieren los individuos antes de entrar en esta



- ▶ fase (Beekman *et al.*, 1998).
- ▶ 3. Es una especie generalista: *B. dahlbomii* está asociado a un amplio espectro de flora que abarca 84 plantas (42 familias), de las cuales el 75% corresponde a flora nativa (Montalva *et al.*, 2011; Smith-Ramírez *et al.*, 2005). Una propuesta de corredores basada en un polinizador generalista amplifica la utilidad del corredor para numerosas especies más especializadas respecto a la flora que visitan.
- ▶ 4. Es una especie emblemática y de simple reconocimiento, lo que facilita un monitoreo participativo de biodiversidad implementado por SIMEF en los pilotos territoriales.
- ▶ 5. Es el único abejorro nativo del centro-sur de Chile (Aizen *et al.*, 2002).
- ▶ 6. Se encuentra en peligro de extinción: se estima que en los últimos 15 años *B. dahlbomii* desapareció en el 80% de las zonas donde habitaba (Montalva, 2012; MMA, 2016).
- ▶ 7. Se realizaron observaciones georreferenciadas de la especie, las que se obtuvieron de la base de datos global es de biodiversidad (Global Biodiversity Information Facility GBIF), que se usaron de observaciones desde el año 1990 en adelante (GBIF, 2019). Otra fuente de observaciones fue la iniciativa de ciencia ciudadana chilena Salvemos Nuestro Abejorro (Salvemos Nuestro Abejorro, 2018), que mantiene un censo ciudadano de *B. dahlbomii* con observaciones georreferenciadas desde el año 2014,

Todas las observaciones obtenidas de *B. dahlbomii* no tienen su origen en inventarios planificados y sistemáticos. Por ello es muy probable que demuestren una autocorrelación espacial y que estén sujetas a un sesgo ambiental (Reddy y Dávalos, 2003; Araújo y Guisan, 2006). Con el fin de disminuir esto último, se aplica un filtro espacial que mantiene el máximo número de observaciones posibles con una distancia mínima de 10 km entre cada punto (Anderson y Raza, 2010; Pearson *et al.*, 2007). Aunque este valor es arbitrario, los autores citados lo justifican por el tamaño que implica un modelamiento a nivel de región y por las heterogeneidades de los datos ambientales presentes dentro de una región modelada. En Cuadro 1 se muestra el número de observaciones de *B. dahlbomii*, el número excluido por el filtro espacial de 10 x 10 km y el de observaciones finales que entran al modelamiento.

Para la Región de O'Higgins se consideran 15 observaciones georreferenciadas de *B. dahlbomii* para el modelamiento espacial; para la Región de Ñuble 7 y para la Región de Los Ríos 26,

Cuadro 1: Número de observaciones de *B. dahlbomii*

Fuente	Región de O'Higgins	Región de Ñuble	Región de Los Ríos
GBIF	4	1	7
Salvemos Nuestro Abejorro	16	6	30
Subtotal	20	7	37
Excluidos por filtro	5	0	11
	Fuente: Rose, 2019.		
Número final	15	7	26

Software utilizado

Se utilizó el *software* Maxent (Phillips *et al.*, 2017), que modela la distribución potencial de una especie sobre la base de la máxima entropía, según las variables biofísicas presentadas en Variables biofísicas y puntos de observación real de la especie, especificado en la sección “Selección de especie indicadora y observaciones”.

Detalles del procedimiento de modelación con Maxent y de generación de corredores biológicos se pueden revisar en los manuales técnicos de Phillips (2017) y Scheldeman y Van Zonneveld (2011).

Corredores de mínimo costo

Los corredores de mínimo costo —segundo paso fundamental de la propuesta— conectan los puntos de observación en términos del mínimo esfuerzo de desplazamiento de la especie en el espacio. Este, también llamado “valor fricción”, corresponde al resultado inverso de la distribución potencial relativa de una especie respecto a la condición ambiental en la que habita. Un bajo valor de fricción representa áreas con condiciones ambientales favorables, y viceversa.

Para el cálculo de las *rectas* se utilizó el set de herramientas geoespaciales *SDMToolbox*, desarrollado por Etherington (2011), y luego adaptado por Brown (2014) para su aplicación en el sistema de información geográfica ArcGIS.

A partir de la distribución potencial relativa de *B. dahlbomii*, validada estadísticamente, se calcularon los corredores que conectan los puntos de observación de la especie en una región. A los corredores se les agregó un área adicional de 1,5 km a ambos lados de su línea para obtener un corredor más amplio. Esto se justifica por la distancia de vuelo de *B. dahlbomii* de hasta 3 km (Cecilia Smith-Ramírez, comunicación personal, 3 de diciembre 2018).

Identificación de áreas para la restauración

El tercer paso fundamental de la propuesta se basa en una clasificación de los corredores, según la distancia y el costo asociado a cada uno, a objeto de poder facilitar la toma de decisiones sobre los que son prioritarios para la restauración. El cálculo del costo de un corredor está basado en la suma de los valores de fricción a lo largo de él, lo cual equivale a un costo en términos de esfuerzo en el desplazamiento para la especie. Los corredores se clasificaron según el costo de fricción en cuatro rangos iguales, como muestra Cuadro 2.

Cuadro 2: Clasificación del costo según fricción

Valores de fricción	Costo según fricción
0,01 - 0,25	Bajo
0,26 - 0,50	Medio bajo
0,51 - 0,75	Medio alto
0,76 - 0,99	Alto

Fuente: Rose, 2019.

©Eduardo E. Zattara



Áreas de estudio

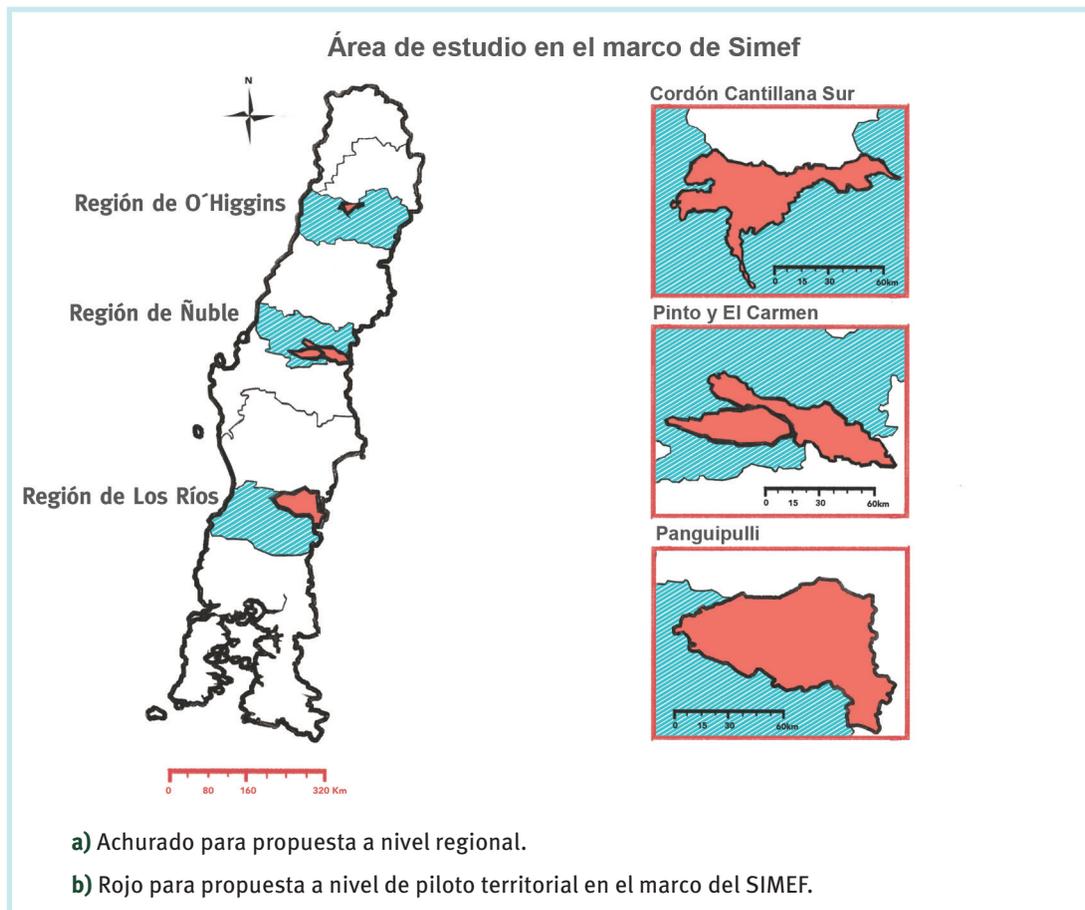
La propuesta metodológica fue desarrollada a nivel regional. Sin embargo, la identificación de áreas para la restauración de corredores para polinizadores se concentra en tres áreas territoriales, las cuales corresponden a zonas piloto en las que se ejecutan acciones de manejo forestal sostenible en el marco del SIMEF.

Los pilotos están ubicados en las siguientes comunas:

- Coltauco, Doñihue y Las Cabras (Región de O'Higgins).
- Pinto y El Carmen (nueva Región de Ñuble).
- Panguipulli (Región de Los Ríos).

En la Región de O'Higgins, el área de acción de SIMEF se concentra en el cordón Cantillana Sur, mientras que en las otras dos regiones el área de acción abarca la extensión completa de las comunas involucradas.

Figura 2: Áreas para la propuesta metodológica



Fuente: Imagen de ArcGis de Esri. 2019. Modificado por Joceline Rose. 2019.

Participan de estos pilotos las comunidades locales, propietarios de terrenos con presencia de bosque nativo, los municipios y diversos organismos públicos relacionados con la temática forestal y de uso de suelo (INFOR, CONAF, INDAP, etc.).

Actualmente se están implementando actividades relacionados con el manejo forestal sostenible, turismo de intereses especiales, educación ambiental y monitoreo participativo de biodiversidad.

Con el fin de poder seleccionar y recomendar especies de plantas nativas para la restauración de los corredores para polinizadores en las zonas piloto del SIMEF, se filtraron primeramente las especies de árboles y arbustos nativos de la lista publicada por Montalva *et al.* (2011). Luego, se comparó el área de distribución de las especies filtradas con la información publicada por Donoso *et al.* (2006) y con la ocurrencia de observaciones reales de especies publicadas en la base de datos de biodiversidad GBIF.



Capítulo 2

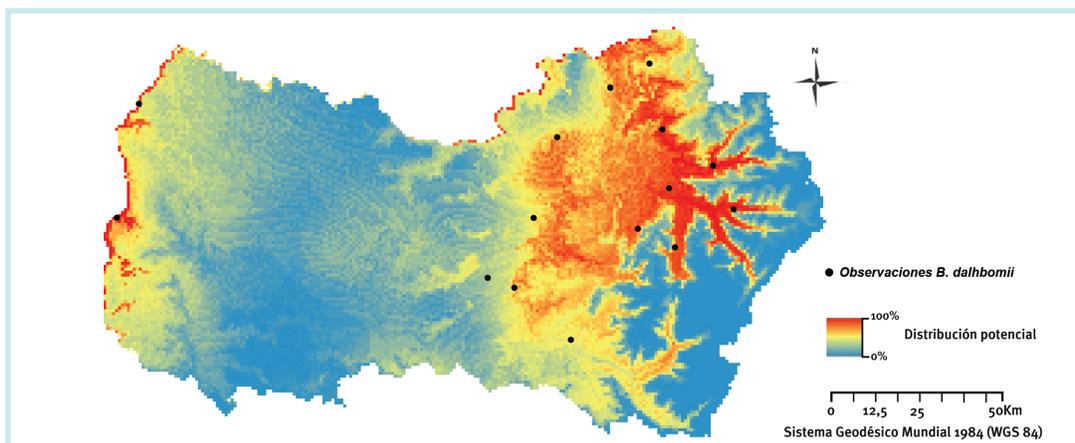
Resultados

Distribución potencial relativa de *B. dahlbomii*

El modelo para la Región de O'Higgins pronosticó la distribución potencial relativa de *B. dahlbomii* con una tasa de éxito de 80%, mientras que para la Región de Los Ríos alcanzó un 88%. Los modelos son estadísticamente significativos, con valores de probabilidad $p = 0,043$ para la Región de O'Higgins y $p = 0,035$ para la Región de Los Ríos. Para la Región de Ñuble, el modelo no fue capaz de pronosticar condiciones ambientales favorables, por lo tanto, no fue estadísticamente significativo.

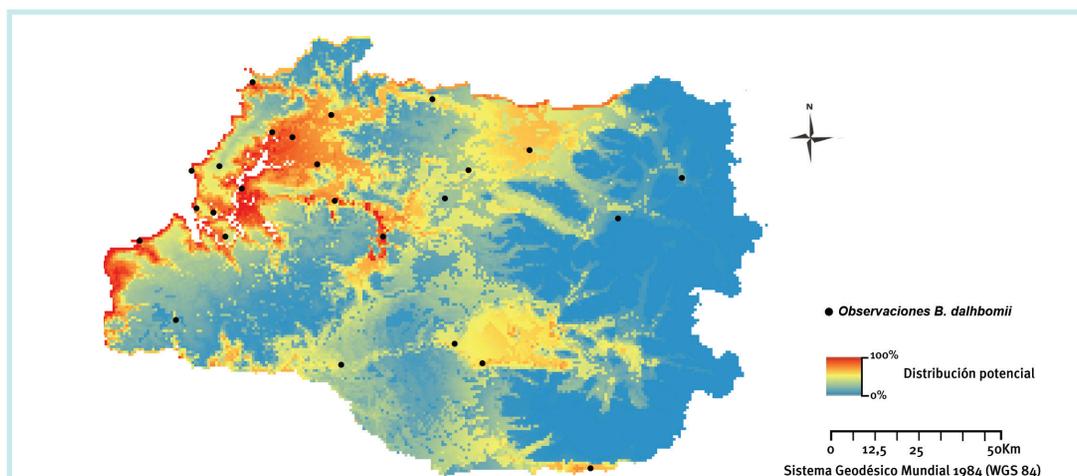
En las figuras 3 y 4 se presentan las distribuciones potenciales relativas de *B. dahlbomii* para la Región de O'Higgins y la Región de Los Ríos, respectivamente. Los puntos negros corresponden a las observaciones georreferenciadas de la especie *B. dahlbomii*.

Figura 3: Distribución potencial relativa de *B. dahlbomii* - Región de O'Higgins



Fuente: Imagen de ArcGis de Esri. 2019. Modificado por Joceline Rose. 2019.
Se ajusta a mapa oficial de Naciones Unidas.

Figura 4: Distribución potencial relativa de *B. dahlbomii* - Región de Los Ríos



Fuente: Imagen de ArcGIS de Esri. 2019. Modificado por Joceline Rose. 2019. Se ajusta a mapa oficial de Naciones Unidas.

Cuadro 3: Contribución relativa de variables biofísicas a los modelos de las regiones de Los Ríos y de O'Higgins

Modelo Los Ríos		Modelo O'Higgins	
Variables	Contribución relativa (%)	Variables	Contribución relativa (%)
Elevación	41,1	Bio7	26,1
Bio6	37,9	Bio2	18,8
Bio12	13,1	Bio11	17,8
Bio15	3,1	Bio15	17,7
Uso de la tierra	2,8	Bio14	9,2
Bio3	1,2	Elevación	8,3
Bio1	0,8	Bio13	1,9

Fuente: Rose, 2019.

En el siguiente Cuadro se presenta la contribución relativa de variables biofísicas a los modelos de distribución potencial relativa de la Región de Los Ríos y Región de O'Higgins, Anexo I (p. 27). En total son ocho variables que contribuyen al modelo de cada región.

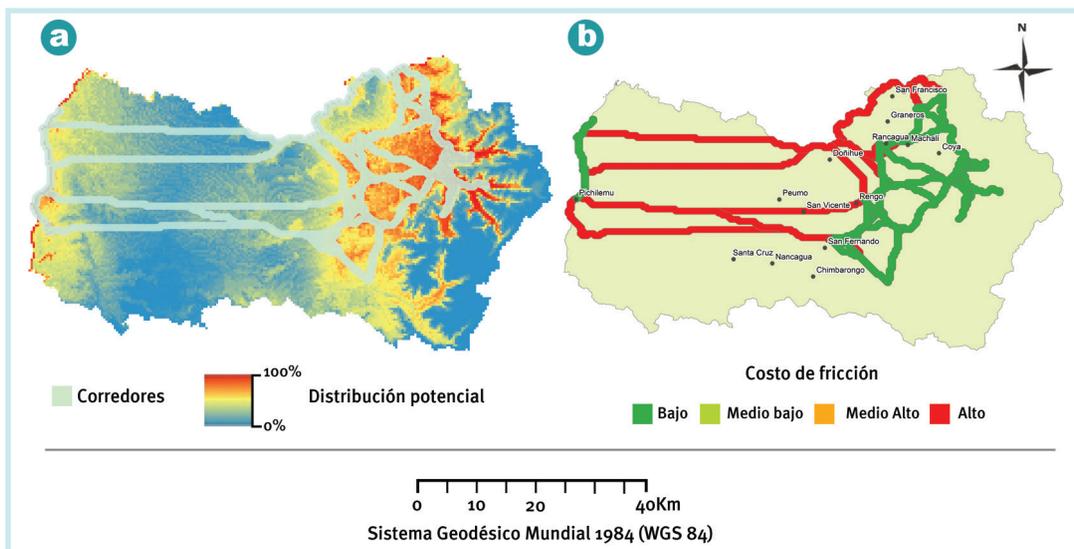
Las variables con mayor contribución al modelo de la Región de Los Ríos son la elevación, con 41,1%, la temperatura mínima del período más frío, con 37,9% (Bio6) y la precipitación anual, con 13,1% (Bio12). En el caso del modelo de la Región de O'Higgins, las variables con mayor contribución son el rango anual de temperatura, con 26,1% (Bio7), el rango medio diario de temperatura, con 18,8% (Bio2), la temperatura promedio en el trimestre más frío, con 17,8% (Bio11) y la estacionalidad de la precipitación, con 17,7% (Bio15).

Corredores de mínimo costo y corredores según costo de fricción

En Figura 5(a) se muestran los corredores de mínimo costo, y en Figura 5(b), los corredores según costo de fricción en la Región de O'Higgins. Los corredores ubicados en el este de la región y en los valles de la precordillera de los Andes tienen un costo de fricción bajo (verde). Los corredores conectores entre el borde costero y los otros corredores al este de la región tienen un costo de fricción alto (rojo).

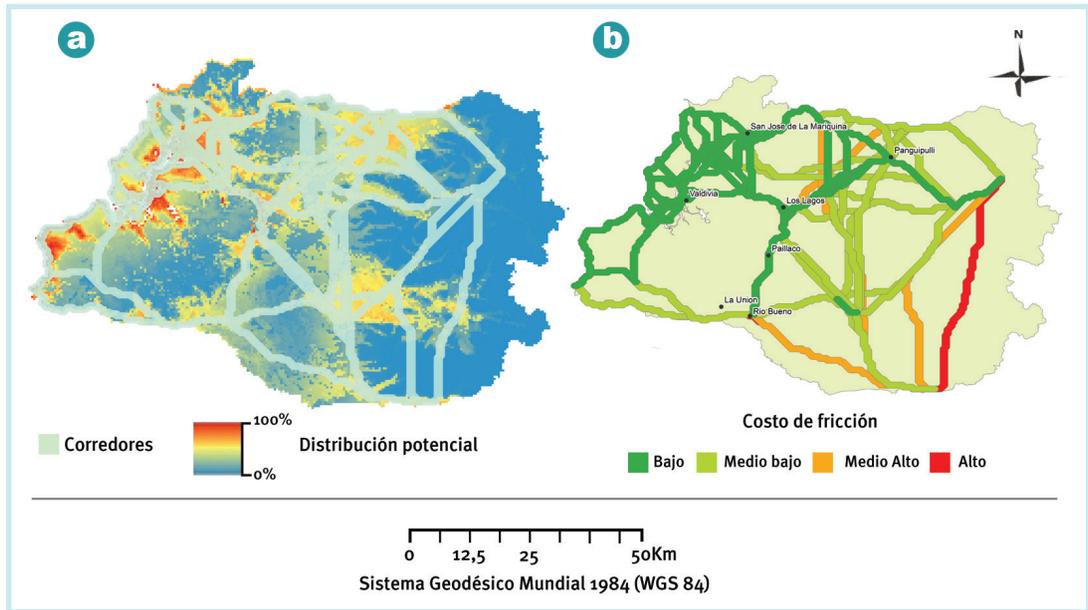
En Figura 6(a) se muestran los corredores de mínimo costo, y en Figura 6(b), los corredores según costo de fricción en la Región de Los Ríos. Hay una presencia dominante de corredores con un costo de fricción bajo (verde) en todo el borde costero y en los grandes humedales alrededor de la ciudad de Valdivia. En la depresión intermedia predominan corredores con un costo de fricción medio bajo (verde claro), con presencia de corredores con un costo de fricción medio alto (naranja). Hay un corredor con un costo de fricción alto (rojo) que atraviesa parte de la precordillera de los Andes de norte a sur.

Figura 5: Corredores de mínimo costo (a) y corredores según costo de fricción (b) – Región de O'Higgins



Fuente: Imagen de ArcGis de Esri. 2019. Modificado por Joceline Rose. 2019. Se ajusta a mapa oficial de Naciones Unidas.

Figura 6: Corredores de mínimo costo (a) y corredores según costo de fricción (b) – Región de Los Ríos



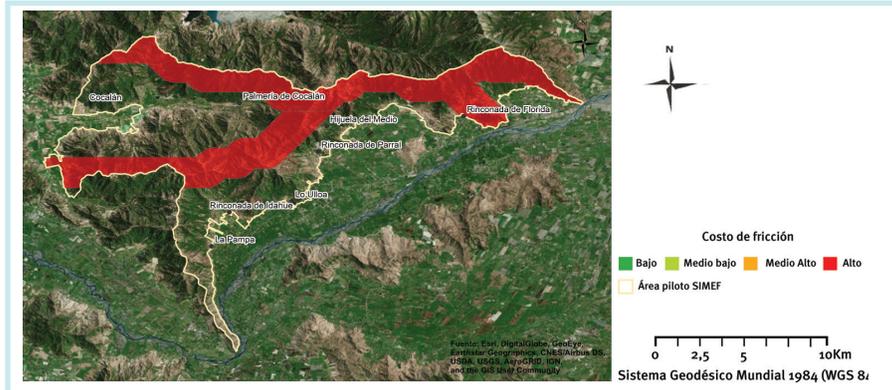
Fuente: Imagen de ArcGIS de Esri, 2019. Modificado por Joceline Rose, 2019. Se ajusta a mapa oficial de Naciones Unidas.



Identificación de áreas para la restauración en las zonas piloto del SIMEF

En las siguientes figuras se presentan los corredores para polinizadores asociados al bosque nativo, según el costo de fricción en las áreas piloto del SIMEF en la Región de O'Higgins y la Región de Los Ríos, basados en una imagen satelital,

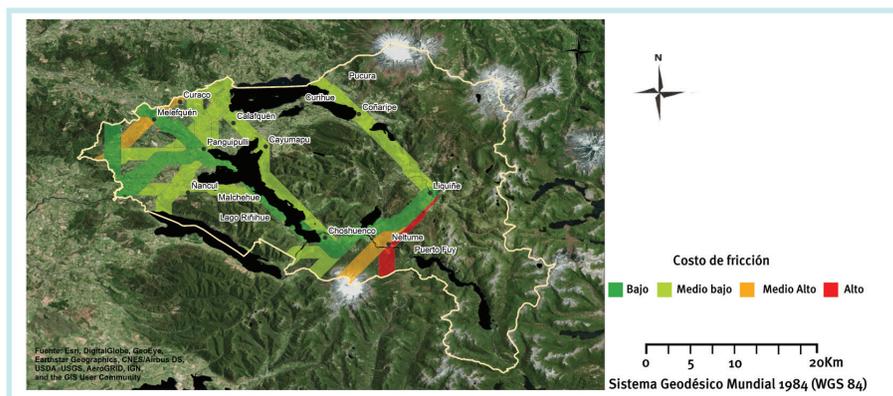
Figura 7: Corredores para polinizadores según costo de fricción – Piloto cordón Cantillana Sur



Fuente: Imagen de ArcGIS Basemap de Esri. 2019. Modificado por Joceline Rose. 2019. Se ajusta a mapa oficial de Naciones Unidas.

Los corredores que atraviesan la zona piloto del cordón Cantillana Sur tienen un costo de fricción alto (Figura 8), mientras que los corredores ubicados en la zona piloto de Panguipulli tienen costos de fricción bajos, medio bajos, medio altos y altos.

Figura 8: Corredores para polinizadores según costo de fricción – Piloto Panguipulli



Fuente: Imagen de ArcGIS Basemap de Esri. 2019. Modificado por Joceline Rose. 2019. Se ajusta a mapa oficial de Naciones Unidas.

Cuadro 4: Especies arbóreas y arbustivas recomendadas para la restauración en zonas piloto del SIMEF

Nombre científico	Nombre común	Zona piloto SIMEF		
		Cordón Cantillana Sur	Pinto & El Carmen	Panguipulli
<i>Amomyrtus luma</i>	Luma		✓	✓
<i>Amomyrtus meli</i>	Meli			✓
<i>Aristotelia chilensis</i>	Maqui	✓	✓	✓
<i>Azara celastrina</i>	Lilén	✓	✓	
<i>Buddleja globosa</i>	Matico	✓	✓	✓
<i>Calceolaria paniculata</i>	Tiaca		✓	✓
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Hierba blanca	✓	✓	
<i>Crinodendron patagua</i>	Patagua	✓	✓	
<i>Crinodendron hookerianum</i>	Chaquihue		✓	✓
<i>Desfontainia spinosa</i>	Taique / Trau-trau		✓	✓
<i>Embothrium coccineum</i>	Notro		✓	✓
<i>Eryngium paniculatum</i>	Cortadera	✓	✓	✓
<i>Escallonia pulverulenta</i>	Corontillo	✓	✓	✓
<i>Escallonia revoluta</i>	Lun	✓	✓	
<i>Eucryphia cordifolia</i>	Ulmo			✓
<i>Fuchsia magellanica</i>	Chilco		✓	✓
<i>Gaultheria insana</i>	Hued-hued		✓	✓
<i>Gaultheria phillyreaefolia</i>	Chaura común		✓	✓
<i>Gevuina avellana</i>	Avellano		✓	✓
<i>Hydrangea serratifolia</i>	Canelilla		✓	✓
<i>Lithraea caustica</i>	Litre	✓	✓	
<i>Luma apiculata</i>	Arrayán	✓	✓	✓
<i>Myrceugenia exsucca</i>	Pitrilla	✓	✓	✓
<i>Myrceugenia ovata</i>	Patagüilla			✓
<i>Myrceugenia parvifolia</i>	Chilchilco	✓	✓	✓
<i>Myrceugenia planipes</i>	Pitra		✓	✓
<i>Otholobium glandulosum</i>	Culén	✓	✓	
<i>Ovidia pillopillo</i>	Pillo-pillo			✓
<i>Peumus boldus</i>	Boldo	✓	✓	✓
<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay	✓	✓	
<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	Arrayán macho	✓	✓	✓
<i>Satureja gilliesii</i>	Menta de árbol	✓	✓	✓
<i>Schinus latifolius</i>	Molle	✓	✓	
<i>Senecio bustillosianus</i>	Senecio	✓		
<i>Senecio eruciformis</i>	Senecio de cordillera	✓		
<i>Senna candolleana</i>	Alcaparra	✓		
<i>Sophora microphylla</i>	Pelú		✓	✓
<i>Solanum crispum</i>	Tomatillo	✓	✓	✓
<i>Tepualia stipularis</i>	Tepú		✓	✓
<i>Ugni candollei</i>	Murta	✓	✓	✓
<i>Ugni molinae</i>	Murta		✓	✓

Fuente: Rose, 2019.

En el Cuadro 4 se muestran las especies de árboles y arbustos nativos recomendados para la restauración de corredores para polinizadores en las zonas piloto del SIMEF. En el Anexo III se presenta la lista completa de flora arbórea y arbustiva nativa asociada a *B. dahlbomii* en Chile.

Capítulo 3

Discusión

Distribución potencial relativa

Para este estudio se eligió el modelamiento de corredores basado en la distribución potencial relativa de una especie indicadora porque señala áreas en las cuales la especie encuentra condiciones favorables para sobrevivir según las variables biofísicas y los datos de observaciones de la especie que entran al modelo.

En el caso de *Bombus dahlbomii*, es esencial analizar la distribución potencial relativa, ya que no existen estudios científicos sobre el hábitat del moscardón chileno ni sobre el de otros polinizadores asociados al bosque nativo que requieren de condiciones ambientales similares que *B. dahlbomii*. A excepción de especies de colibrís. En la sección Especie indicadora (p. 19) se explicará por qué no se utilizó una especie de colibrí para el desarrollo de la propuesta.

Los modelos se calibraron con la técnica *jackknife* (Pearson *et al.*, 2007), procedimiento que asegura una distribución potencial relativa estadísticamente validada para observaciones reducidas. Los modelos para las regiones de O'Higgins y de Los Ríos son estadísticamente significantes, y se pueden considerar confiables con una tasa de éxito de predicción de 80% y 88%, respectivamente.

Para la Región de Ñuble será necesario aumentar el número de observaciones y así poder validar estadísticamente el modelo de distribución potencial relativa.

La distribución potencial relativa para la Región de O'Higgins muestra valores altos en los valles de la precordillera de los Andes y en la costa de la región. Los valores bajos se concentran en áreas con elevación alta en la cordillera de los Andes y entre la depresión intermedia y la cordillera de la Costa. La Región de Los Ríos presenta valores altos de distribución potencial relativa en el borde costero y en los grandes humedales alrededor de la ciudad de Valdivia. Los valores bajos se concentran en la cordillera de la



Costa y la cordillera de los Andes.

Variables biofísicas

Comúnmente se utilizan 19 variables bioclimáticas para modelar la distribución potencial relativa de una especie (Scheldeman y Van Zonneveld, 2011). Adicionalmente, se incluyeron la elevación y el uso de la tierra al modelamiento para poder representar mejor las condiciones biofísicas en los distintos territorios de este estudio. En las regiones de O'Higgins y de Los Ríos, la elevación contribuye al éxito predictivo de los modelos, mientras que el uso de la tierra contribuye solamente al modelo de la Región de Los Ríos. Es notorio que las variables con más importancia en la Región de O'Higgins están relacionadas con rangos de temperatura y estacionalidad de precipitación, mientras que en la Región de Los Ríos inciden la elevación y la temperatura mínima del período más frío en el éxito predictivo del modelo.



La resolución espacial de las variables biofísicas —la cual actualmente es de 1 km— podría aumentar

en aplicaciones futuras de la presente propuesta porque la elevación y cobertura de suelo está disponible en una resolución más fina. Sin embargo, un requisito para desarrollar el modelo con una resolución más fina es obtener más observaciones georreferenciadas de la especie.

Especie indicadora

La limitante más grande de desarrollo de la propuesta metodológica fue encontrar un polinizador asociado al bosque nativo con suficientes datos de observaciones georreferenciadas entre las regiones de O'Higgins y de Los Ríos.

La única especie alternativa que cumple con suficientes datos de observaciones en estas regiones es el colibrí austral *Sephanoides sephanooides*. Sin embargo, está asociado a un espectro limitado de flora nativa, y por eso la identificación de corredores y flora nativa basados en esta especie serviría a pocos otros polinizadores. En cambio, *Bombus dahlbomii* es una especie generalista que está asociada a un espectro amplio de flora arbórea y arbustiva nativa, lo que permite identificar corredores y flora nativa que sirven para el desplazamiento de numerosos polinizadores del bosque nativo.

El moscardón chileno también se seleccionó como especie indicadora para la propuesta porque está en peligro de extinción (MMA, 2016). Los factores que podrían estar incidiendo en esto son probablemente la fragmentación del hábitat, la contaminación por pesticidas, el cambio climático y la introducción de patógenos con congéneres introducidos.

La implementación de corredores basados en la presente propuesta puede ayudar a restablecer la conectividad entre parches restantes de bosque nativo aislados en el paisaje, para contrarrestar la constante fragmentación del hábitat 'bosque nativo'. Sin embargo hay factores en los cuales los corredores no pueden incidir para mejorar las condiciones de sobrevivencia de polinizadores asociados al bosque nativo.

En el caso de patógenos introducidos, por ejemplo, Arbetman *et al.* (2012) revelaron la presencia del endoparásito *Apicystis bombi* en poblaciones silvestres de *Bombus dahlbomii* y de los abejorros introducidos *Bombus ruderatus* y *Bombus terrestris*. El parásito *Apicystis bombi* es un protozoo que causa la muerte prematura de las obreras, por lo que impide la formación de nuevas colonias (Montalva, 2012). El moscardón chileno se contagia con los patógenos visitando las mismas flores que sus congéneres exóticos infectados.

Surge la duda, entonces, de que los corredores propuestos podrían incluso aumentar el peligro de contagio para polinizadores nativos con patógenos introducidos por abejorros exóticos.

El desarrollo de la presente propuesta hizo evidente que el número de observaciones de polinizadores nativos es reducido en Chile. Por otro lado, las observaciones existentes probablemente están sujeta a un sesgo ambiental por ser observaciones no sistemáticas.



Sin embargo, el contagio siempre es posible con o sin corredores. Respecto a esto, un monitoreo constante e investigaciones de las poblaciones de distintos polinizadores nativos podrían ayudar a analizar los efectos de los corredores en el tiempo.

El monitoreo participativo que se está implementando actualmente en las áreas piloto del SIMEF representa una gran oportunidad para involucrar a los habitantes en los diferentes territorios de Chile en el monitoreo de la biodiversidad de flora y fauna chilena, y a la vez aumentar el número de observaciones de especies.

Es probable que *B. dahlbomii* esté presente en áreas para las cuales no existen datos de observaciones. Incorporar nuevos puntos de observación al modelamiento generaría una distribución potencial relativa distinta con corredores nuevos, adicionales a los existentes, y con un costo de fricción diferente. Idealmente, se instalaría un monitoreo sistemático con participación ciudadana de polinizadores nativos asociados al bosque nativo para poder analizar su estado de conservación en el tiempo.

Software utilizado

Existen diferentes enfoques metodológicos y *softwares* específicos para la identificación de corredores biológicos. Este estudio se basa en la aplicación del *software* Maxent por su desempeño influenciado por un número moderado de parámetros y su enfoque de modelación basada solamente en datos de presencia de una especie, sin necesitar de datos de ausencia de la misma especie (Phillips y Dudik, 2008).

Varios estudios han comprobado que Maxent muestra un buen desempeño especialmente para modelaciones con pocos datos de observaciones de una especie (Phillips y Dudik, 2008; Ng y Jordan, 2001). Esto representa una gran ventaja en el caso de la modelación de corredores para polinizadores asociados al bosque nativo por el reducido número de datos de observaciones de especies disponibles para Chile. Además, existen numerosas publicaciones científicas, manuales técnicos y herramientas geoespaciales de libre acceso que comprueban los alcances y límites de modelaciones espaciales de distribución de especies basados en Maxent, lo que facilita futuras aplicaciones y calibraciones de la presente propuesta metodológica.

Corredores de mínimo costo y clasificación de corredores

Las variables biofísicas que inciden en la distribución potencial de la especie indicadora y finalmente en el costo de fricción de un corredor son completamente distintas para la Región de O'Higgins y la Región de Los Ríos.

Esto debido principalmente a condiciones bioclimáticas diferentes entre ambas regiones. Respecto a las otras variables, el uso de la tierra no tiene incidencia en el costo de fricción en la Región de O'Higgins, y solamente incide con un 2,8% en la Región de Los Ríos.

Sin embargo, es probable que el aumento de costo de fricción tenga relación con el incremento de la elevación, ya que esta es una de las variables biofísicas que contribuyen al éxito predictivo del modelo de distribución potencial relativa en ambas regiones; en la Región de Los Ríos incluso como variable más importante.

Identificación de áreas para la restauración y flora recomendada

A objeto de poder facilitar la toma de decisiones sobre corredores prioritarios para la restauración en las zonas piloto del SIMEF, se discutirá sobre la influencia del costo de fricción asociado a un corredor en iniciativas de restauración de bosque nativo.

Corredores con un costo de fricción bajo representan áreas en las cuales se asume que polinizadores asociados al bosque nativo encuentran condiciones ambientales favorables para sobrevivir. Por eso aumenta la probabilidad de que ciertos polinizadores ya estén presentes en estas áreas.

Consecuentemente, iniciativas de restauración de bosque nativo en corredores con un costo de fricción bajo prometen facilitar el desplazamiento de polinizadores de manera eficiente y exitosa.

La restauración de bosque nativo en corredores con un costo de fricción alto se enfocaría en aumentar la conectividad del hábitat para la especie, a pesar de que las condiciones bioclimáticas y de elevación, por ejemplo, puedan representar condiciones no favorables para la especie. Por eso, una restauración de bosque nativo en corredores con un costo de fricción alto también está asociado a uno monetario más alto y no asegura el éxito de la iniciativa, porque siempre queda el riesgo de que la especie finalmente no utilice estos corredores.

En el caso de la zona piloto en Panguipulli, existen varios corredores con un costo de fricción bajo en los cuales se recomienda empezar con iniciativas de restauración. En la zona piloto cordón Cantillana Sur, en cambio, solamente existen corredores con un costo de fricción alto, en los cuales no se recomienda comenzar con iniciativas de restauración por los motivos mencionados.

La flora recomendada para la restauración comprende una amplia variedad de especies nativas que visita *B. dahlbomii* según Montalva *et al.* (2011). Se asume que estas especies son visitadas por una gran variedad de polinizadores asociados al bosque nativo, asegurando así el éxito de futuras iniciativas de restauración en las zonas piloto del SIMEF.

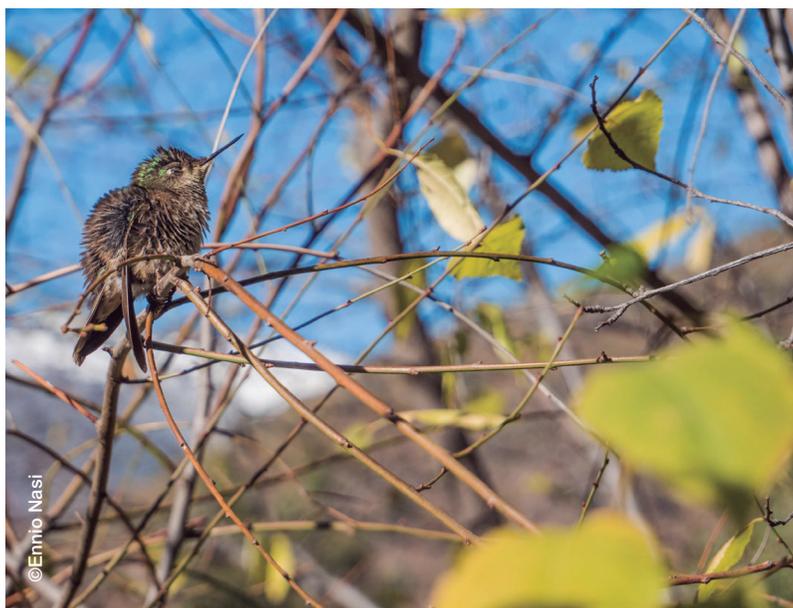


Capítulo 4

Recomendaciones

Según los resultados del presente estudio, se recomiendan los siguientes pasos:

1. Utilizar los corredores planteados —en forma orientativa— para concentrar el esfuerzo de acciones de restauración en la generación de corredores de bosque nativo que faciliten el desplazamiento de numerosos polinizadores asociados a estos ecosistemas.
2. Considerar los arbustos y árboles recomendados para asegurar una restauración de una vegetación nativa que favorezca un amplio espectro tanto de polinizadores generalistas como especializados.
3. Mejorar la base de datos de observaciones de polinizadores a través del monitoreo participativo que se está desarrollando en el marco del SIMEF.
4. Generar modelos de distribución potencial relativa y corredores más locales basados en la presente propuesta metodológica una vez mejorada la base de datos de observaciones de polinizadores en los territorios.





Referencias

- Aizen, M.A., Vázquez, D.P., y Smith-Ramírez, C. 2002. *Historia natural y conservación de los mutualismos planta-animal del bosque templado de Sudamérica austral*. Revista Chilena de Historia Natural. 75(1): 79-97.
- Anderson, R.P., y Raza, A. 2010. *The effect of the extent of the study region on GIS models of species geographic distributions and estimates of niche evolution: preliminary tests with montane rodents (genus Nephelomys) in Venezuela*. Journal of Biogeography. 37: 1378-1393.
- Araújo, M.B., y Guisan, A. 2006. *Five (or so) challenges for species distribution modelling*. Journal of Biogeography. 33: 1677-1688,
- Arbetman, M.P., Meeus, I., Morales, C.L., Aizen, M. A., y Smagghe, G. 2012. *Alien parasite hitchhikes to Patagonia on invasive bumblebee*. Biological Invasions. 15 (3): 489-494.
- Beekman, M., Van Stratum, P., y Lingeman, R. 1998. *Diapause survival and post-diapause performance in bumblebee queens (Bombus terrestris)*. Entomologia Experimentalis et Applicata. 89: 207-214.
- Brown, J.L. 2014, *SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses*. Methods in Ecology and Evolution. 5: 694-700.
- Convention on Biological Diversity (CBD). 2016. *Implications of the IPBES assessment on pollinators, pollination and food production for the work of the Convention*. Cancun, Mexico, December 2016. (Disponible en: [https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-15-en .pdf](https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-15-en.pdf). Acceso en 22/03/2019).
- Donoso, C. 2006. *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: Autoecología*. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones.
- Etherington, T.R. 2011. *Python based GIS tools for landscape genetics: visualising genetic relatedness and measuring landscape connectivity*. Methods in Ecology and Evolution. 2(1): 52-55 .
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. *Estado del arte del servicio ecosistémico de la polinización en Chile, Paraguay y Perú 2017*. Santiago de Chile.
- Fick, S.E., y Hijmans, R.J. 2017, *Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas*. International Journal of Climatology. 37(12): 4302-4315.
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). 2019. Occurrence Download disponible en: <https://doi.org/10.15468/dl.xkaqds>. Acceso: 25/02/2019.

- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2016. *Bombus dahlbomii* (Guérin-Meneville 1835). Ficha de antecedentes de especies, DS 18 MMA 2016 (12mo proceso Resolución de Clasificación de Especies). Santiago de Chile. 161-175.
- Montalva, J., Dudley, L.S., Arroyo, M.T.K., Retamales, H., y Abrahamovich, A.H. 2011. *Geographic distribution and associated flora of native and introduced bumblebees (Bombus spp.) in Chile*. Journal of Apicultural Research. 50(1): 11-21.
- Montalva, J. 2012. *La difícil situación del abejorro más austral del mundo (Bombus dahlbomii Guérin- Méneville, 1835)*. Boletín de Biodiversidad de Chile. 7: 1-3.
- Ng, A.Y., y Jordan, M.I. 2001. *On discriminative vs. generative classifiers: a comparison of logistic regression and naïve Bayes*. Adv. Neural Inform. Process. Syst., 14: 605-610.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., y Peterson, A.T. 2007. *Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar*. Journal of Biogeography. 34: 102-117.
- Phillips, S.J. 2017. *A Brief Tutorial on Maxent*. Lessons in Conservation. 3: 108-135.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudik, M., Schapire, R.E., y Blair, M.E. 2017. *Opening the black box: an open-source release of Maxent*. Ecography. 40: 87- 893.
- Phillips, S.J., y Dudik, M. 2008. *Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation*. Ecography. 31: 161-175.
- Radosavljevic, A., y Anderson, R.P. 2014. *Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation*. Journal of Biogeography. 41: 629-643.
- Reddy, S., y Dávalos, L. 2003. *Geographical sampling bias and its implications for conservation priorities in Africa*. Journal of Biogeography. 30: 1719-1727.
- Salvemos Nuestro Abejorro. 2018. Datos de ocurrencia de *B. dahlbomii* (Disponible en <http://salvemosnuestroabejorro.wordpress.com> Acceso: 24/05/2018.)
- Scheldeman, X., y Van Zonneveld, M. 2011. *Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas*. Roma, Italia. Bioersivity International.
- Smith-Ramírez, C., Martínez, P., Núñez, M., González, C., y Arresto, J.J. 2005. *Diversity, flower visitation frequency and generalism of pollinators in temperate rain forests of Chiloé Island, Chile*. Botanical Journal of the Linnean Society. 147: 399-416.
- West, A., Kumar, S., Brown, C.S., Stohlgren, T.J., y Bromberg, J. 2016. *Field validation of an invasive species Maxent model*. Ecological Informatics. 36: 126-134.



Anexo I

Cuadro 1: Variables bioclimáticas utilizadas para el modelamiento espacial con Maxent

Denominación	Variable bioclimática
BIO1	Temperatura promedio anual
BIO2	Rango medio diario (temp. máx. – temp. mín; promedio mensual)
BIO3	Isotermalidad (BIO1/BIO7) * 100
BIO4	Estacionalidad en temperatura (coeficiente de variación)
BIO5	Temperatura máxima del período más caliente
BIO6	Temperatura mínima del período más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura promedio en el trimestre más seco
BIO10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso
BIO11	Temperatura promedio en el trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación en el período más lluvioso
BIO14	Precipitación en el período más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación en el trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación en el trimestre más seco
BIO18	Precipitación en el trimestre más caluroso
BIO19	Precipitación en el trimestre más frío

Fuente: Rose, 2019.

Anexo II

Cuadro 2: Parámetros de calibración de los modelos para la Región de O'Higgins

Modelo	Umbral mínimo presente (acumulativo)	Valor pixel del punto excluido	Tasa de fallo-éxito	Proporción de área pronosticada
1	31,45	83,24	1	0,520
2	25,03	73,00	1	0,583
3	17,73	50,50	1	0,704
4	19,01	65,03	1	0,639
5	26,20	99,16	1	0,597
6	19,65	50,71	1	0,626
7	24,23	88,79	1	0,606
8	27,06	98,29	1	0,587
9	26,61	28,54	1	0,508
10	30,39	53,02	1	0,498
11	27,06	11,31	0	0,458
12	28,27	47,47	1	0,527
13	31,14	29,35	0	0,466
14	37,35	20,24	0	0,411
15	32,37	69,33	1	0,489

Fuente: Rose, 2019.

Cuadro 3: Parámetros de calibración de los modelos para la Región de Ñuble

Modelo	Umbral mínimo presente (acumulativo)	Valor pixel del punto excluido	Tasa de fallo-éxito	Proporción de área pronosticada
1	20,457	85,67	1	0,742
2	20,457	85,67	1	0,742
3	18,118	53,67	1	0,742
4	34,236	8,00	0	0,358
5	18,118	53,67	1	0,742
6	20,544	85,75	1	0,742
7	20,457	98,48	1	0,742

Fuente: Rose, 2019.

Cuadro 4: Parámetros de calibración de los modelos para la Región de Los Ríos

Modelo	Umbral mínimo presente (acumulativo)	Valor pixel del punto excluido	Tasa de fallo-éxito	Proporción de área pronosticada
1	10,850	2,77	0	0,584
2	6,197	84,26	1	0,714
3	5,999	40,14	1	0,712
4	4,301	7,36	1	0,746
5	5,588	77,51	1	0,718
6	5,649	47,04	1	0,719
7	5,109	36,32	1	0,730
8	5,421	32,52	1	0,723
9	5,268	16,81	1	0,723
10	5,485	66,63	1	0,725
11	5,555	66,98	1	0,720
12	5,549	69,36	1	0,721
13	5,607	75,67	1	0,722
14	5,991	71,95	1	0,717
15	5,195	27,44	1	0,725
16	5,742	77,71	1	0,716
17	5,406	82,60	1	0,723
18	5,261	81,63	1	0,728
19	3,475	3,34	0	0,752
20	6,400	5,05	0	0,682
21	6,045	44,41	1	0,711
22	5,900	10,03	1	0,708
23	5,768	37,39	1	0,714
24	4,859	27,12	1	0,733
25	5,630	43,24	1	0,713
26	5,930	85,19	1	0,713

Fuente: Rose, 2019.

Anexo III

Cuadro 5: Especies de árboles y arbustos asociados al polinizador *B. dahlbomii*

Nombre científico	Nombre común	Categoría	Área de distribución
<i>Amomyrtus luma</i>	Luma	Árbol	Maule - Aysén
<i>Amomyrtus meli</i>	Meli	Árbol	Arauco - Chiloé
<i>Aristotelia chilensis</i>	Maqui	Árbol	Limarí - Aysén
<i>Azara celastrina</i>	Lilén	Arbusto	Limarí - Biobío
<i>Buddleja globosa</i>	Matico	Arbusto	Elqui - Palena
<i>Caldcluvia paniculata</i>	Tiaca	Árbol	Río Itata - Aysén
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Hierba blanca	Arbusto	Los Andes - Alto Biobío
<i>Crinodendron patagua</i>	Patagua	Árbol	Quillota - Concepción
<i>Crinodendron hookerianum</i>	Chaquihue	Arbusto	Río Maule - Chiloé
<i>Desfontainia spinosa</i>	Taique / Trau-trau	Arbusto	Maule - Tierra del Fuego
<i>Embothrium coccineum</i>	Notro	Árbol	Curicó - Tierra del Fuego
<i>Eryngium paniculatum</i>	Cortadera	Arbusto	Limarí - Norte de Chiloé
<i>Escallonia pulverulenta</i>	Corontillo	Arbusto	La Ligua - Malleco
<i>Escallonia revoluta</i>	Lun	Árbol	Choapa - Cautín
<i>Amomyrtus luma</i>	Luma	Árbol	Maule - Aysén
<i>Amomyrtus meli</i>	Meli	Árbol	Arauco - Chiloé
<i>Aristotelia chilensis</i>	Maqui	Árbol	Limarí - Aysén
<i>Azara celastrina</i>	Lilén	Arbusto	Limarí - Biobío
<i>Buddleja globosa</i>	Matico	Arbusto	Elqui - Palena
<i>Caldcluvia paniculata</i>	Tiaca	Árbol	Río Itata - Aysén
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Hierba blanca	Arbusto	Los Andes - Alto Biobío
<i>Crinodendron patagua</i>	Patagua	Árbol	Quillota - Concepción
<i>Crinodendron hookerianum</i>	Chaquihue	Arbusto	Río Maule - Chiloé
<i>Desfontainia spinosa</i>	Taique / Trau-trau	Arbusto	Maule - Tierra del Fuego
<i>Embothrium coccineum</i>	Notro	Árbol	Curicó - Tierra del Fuego
<i>Eryngium paniculatum</i>	Cortadera	Arbusto	Limarí - Norte de Chiloé

<i>Escallonia pulverulenta</i>	Corontillo	Arbusto	La Ligua - Malleco
<i>Escallonia revouta</i>	Lun	Árbol	Choapa - Cautín
<i>Eucryphia cordifolia</i>	Ulmo	Árbol	Biobío - Chiloé
<i>Fuchsia magellanica</i>	Chilco	Arbusto	Pichilemu - Tierra del Fuego
<i>Gaultheria insana</i>	Hued-hued	Arbusto	Maule - Aysén
<i>Gaultheria phillyreaefolia</i>	Chaura común	Arbusto	Maule - Chiloé
<i>Gevuina avellana</i>	Avellano	Árbol	Colchagua - Palena
<i>Hydrangea serratifolia</i>	Canelilla	Arbusto	Maule - Palena
<i>Lithraea caustica</i>	Litre	Árbol	Limarí - Malleco
<i>Luma apiculata</i>	Arrayán	Árbol	Valparaíso - Aysén
<i>Myrceugenia exsucca</i>	Pitrilla	Árbol	Coquimbo - Chiloé/Palena
<i>Myrceugenia ovata</i>	Patagüilla	Arbusto	Arauco - Chiloé
<i>Myrceugenia parvifolia</i>	Chilchilco	Arbusto	Elqui - Chiloé
<i>Myrceugenia planipes</i>	Pitra	Arbusto	Colchagua - Aysén
<i>Otholobium glandulosum</i>	Culén	Arbusto	Elqui - Concepción
<i>Ovidia pillopillo</i>	Pillo-pillo	Arbusto	Arauco - Aysén
<i>Peumus boldus</i>	Boldo	Árbol	Tongoy - Osorno
<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay	Árbol	Coquimbo - Malleco
<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	Arrayán macho	Arbusto	Limarí - Aysén
<i>Satureja gilliesii</i>	Menta de árbol	Arbusto	Atacama - Aysén
<i>Schinus latifolius</i>	Molle	Árbol	Coquimbo - Concepción
<i>Senecio bustillosianus</i>	Senecio	Arbusto	Aconcagua - Maule
<i>Senecio eruciformis</i>	Senecio de cordillera	Arbusto	Aconcagua - Maule
<i>Senna candolleana</i>	Alcaparra	Arbusto	Elqui - Malleco
<i>Sophora microphylla</i>	Pelú	Árbol	Maule - Chiloé/Palena
<i>Solanum crispum</i>	Tomatillo	Arbusto	Coquimbo - Chiloé
<i>Tepualia stipularis</i>	Tepú	Árbol	Río Maule - Magallanes
<i>Ugni candollei</i>	Murta	Arbusto	Elqui - Aysén
<i>Ugni molinae</i>	Murta	Arbusto	Maule - Chiloé

Fuente: Rose, 2019.

Este documento forma parte de una serie de 21 publicaciones técnicas y refleja algunas de las actividades y resultados alcanzados durante cinco años de trabajo del proyecto Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de los Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF), una iniciativa del Gobierno de Chile, con apoyo técnico de la FAO y financiamiento del Fondo para el Medioambiente Mundial (FMAM). La iniciativa ha implementado un inventario nacional incorporando las dimensiones biofísicas, socioeconómicas, biodiversidad y el cambio de uso de la tierra, consolidando finalmente un sistema de monitoreo y la evaluación del stock de carbono de los bosques chilenos.

Estas publicaciones se agrupan en protocolos técnicos, que sistematizan las diversas modalidades de inventario de los ecosistemas forestales nativos; informes técnicos con presentación de los resultados producto de la aplicación de estos protocolos y también se entrega un conjunto de manuales técnicos útiles para profesionales y propietarios en su trabajo de campo.

ISBN 978-92-5-133276-4



9 789251 332764

CB0870ES/1/04.21