

Volumen 30 N°3. Diciembre, 2024

ISSN 0718-4646



CIENCIA & INVESTIGACIÓN FORESTAL



**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**





<https://revista.infor.cl>



REVISTA CIENCIA & INVESTIGACIÓN FORESTAL. INSTITUTO FORESTAL. CHILE

La revista Ciencia & Investigación Forestal es una publicación científico técnica, en español, publicada por el Instituto Forestal desde el año 1987. Es una publicación de acceso abierto, seriada, arbitrada, en formato digital y de carácter interdisciplinario.

En la Revista se divulga la investigación y ciencia forestal con una visión aplicada y orientada principalmente a profesionales y técnicos del sector forestal que demandan soluciones para sus problemas en el corto y mediano plazo, así como a profesionales del sector público y privado, investigadores, académicos, personeros con responsabilidad en la toma de decisiones técnico-políticas, y en general a la sociedad interesada en el conocimiento de los múltiples bienes y servicios que proveen los ecosistemas forestales.

Ciencia & Investigación Forestal publica contribuciones originales e inéditas de investigadores y profesionales, de instituciones nacionales o extranjeras, interesados en publicar investigación aplicada en el ámbito de las ciencias forestales y materias afines en las temáticas económicas, sociales y ambientales.

Todas las contribuciones presentadas a la revista son sometidas a un proceso de revisión por pares (*peer review*) bajo la modalidad de doble ciego.

La periodicidad de publicación es de tres números por año y ocasionalmente números especiales.

La Revista provee acceso libre a su contenido bajo el principio de hacer disponible la investigación al público para fomentar un mayor intercambio de conocimiento global. No existe costo por acceso a las contribuciones publicadas y los autores no asumen ningún costo por el procesamiento, revisión, edición y publicación de sus contribuciones.

En el sitio Web de la Revista (<https://revista.infor.cl>) es posible acceder a todos los números publicados y también encontrar toda la información referente a Equipo Editorial, Propiedad Intelectual, Declaración de Privacidad, Tipo de Contribuciones y la Guía y Recomendaciones para Autores. Se trata de una plataforma OJS (*Open Journal System*) en la cual, además de la información indicada, radica el manejo del flujo editorial de la Revista. Los autores deben a través de esta plataforma incorporar sus contribuciones, recibir posibles sugerencias de correcciones y finalmente enterarse de la aceptación o eventual rechazo de estas.

Santiago Barros & Braulio Gutiérrez
Editores C&I Forestal
sbarros@infor.cl bgutierrez@infor.cl



CONTENIDO

ARTÍCULOS

Antecedentes generales del sector de los biocombustibles en la región del Biobío. 5
Juan Carlos Pinilla Suárez; Joaquín García Inostroza; Felipe Navarrete Ulloa; Mauricio Navarrete Torres; Karoline Casanova del Río & Karina Luengo Vergara.

Vulnerabilidad de los bosques de montaña al cambio climático: primeros resultados de una investigación a largo plazo en la Comuna de Panguipulli, Chile. 19
Joceline Rose; Sabine Müller-Using Wenzke & Yasna Rojas Ponce.

APUNTES

Aspectos genéticos, reproductivos y prácticos para el uso ecológico y productivo del arrayán (*Luma apiculata* (DC.) Burret). 33
Braulio Gutiérrez Caro.

Especies melíferas en la restauración del paisaje forestal. 45
Jorge González-Campos; María Molina Brand; Hernán Soto Guevara; Braulio Gutiérrez Caro; Roberto Ipinza Carmona; Tamara Vera Castro & Laura Koch Zúñiga.

Diversificación Forestal, perspectivas socioeconómicas y ambientales para la realidad chilena. 55
Verónica Löewe Muñoz & Sergio Lisoni Cornejo.

Agroforestería: Un aporte a la sustentabilidad de la pequeña y mediana agricultura en Chile. 65
Susana Benedetti Ruíz.



ARTÍCULO

Antecedentes generales del sector de los biocombustibles en la región del Biobío.

Juan Carlos Pinilla Suárez^{1*}; Joaquín García Inostroza¹; Felipe Navarrete Ulloa¹; Mauricio Navarrete Torres¹; Karoline Casanova del Río¹; Karina Luengo Vergara¹.

¹ Instituto Forestal, sede Biobío. Concepción. jpinilla@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.615>

Recibido: 02.12.2024; Aceptado 09.12.2024

RESUMEN

El sector de biocombustibles sólidos derivados de la madera en el Biobío y Chile contribuye a diversificar la matriz energética y reducir la contaminación ambiental. Sin embargo, enfrenta desafíos en productividad, calidad de materia prima y cumplimiento de nuevos estándares, como los de la Ley 21.499, que regula la producción y comercialización de leña y pellet. Esta normativa requiere caracterizar el sector, identificar brechas, analizar mercados y monitorear precios, aspectos clave para la toma de decisiones de Ministerios y productores. Adicionalmente, los productores manifiestan interés en conocer las exigencias de esta Ley, incluyendo normas, certificación y acreditación de calidad.

En el marco de un Programa FIC-R, se inició un monitoreo mensual de los precios de leña certificada y pellet en la región del Biobío durante 2022-2024. Los resultados indican una baja en los precios del pellet respecto a 2023 y estabilidad en la demanda y precios de la leña en 2024. Este monitoreo proporciona información valiosa para desarrollar políticas regionales y fomentar el uso sustentable de biomasa forestal como fuente de energía renovable. Sin embargo, es necesario mantener estas evaluaciones para fortalecer la diversificación de fuentes de abastecimiento y apoyar el desarrollo sostenible del sector.

Palabras clave: Leña, pellet, energía, biocombustibles, Biobío

SUMMARY

The solid biofuels sector derived from wood in Biobío and Chile contributes to diversifying the energy matrix and reducing environmental pollution. However, it faces challenges in productivity, raw material quality, and compliance with new standards, such as Law 21.499, which regulates the production and commercialization of firewood and pellets. This regulation requires characterizing the sector, identifying gaps, analyzing markets, and monitoring prices, key aspects for decision-making by Ministries and producers. Additionally, producers express interest for understanding the Law's requirements, including standards, certification, and quality accreditation.

Under a FIC-R Program, monthly monitoring of certified Firewood and Pellet prices in the Biobío region was initiated for 2022-2024. Results indicate a decrease in Pellet prices compared to 2023 and stability in Firewood demand and prices in 2024. This monitoring provides valuable information for developing regional policies and promoting the sustainable use of forest biomass as a renewable energy source. However, it is necessary to maintain these evaluations to strengthen the diversification of supply sources and support the sector's sustainable development.

Key words: Firewood, pellet, Energy, biofuels, Biobío

INTRODUCCIÓN

La industria de los biocombustibles en Chile tiene un gran potencial para contribuir a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de la contaminación ambiental. Sin embargo, enfrenta desafíos relacionados con aspectos productivos, de disponibilidad y calidad de la materia prima, de nuevas

normativas en formulación y de falta de información relacionada con su mercado. Se ha señalado, y existe acuerdo, en que se requieren del desarrollo de políticas públicas, fomento y la colaboración entre el sector privado e instituciones del Estado para superar estos desafíos y fomentar el crecimiento sostenible de la industria (Pinilla *et al.*, 2022). Por lo anterior, se están desarrollando iniciativas para asegurar la calidad de la materia prima y de los biocombustibles resultantes y que los usuarios puedan satisfacer sus requerimientos de demanda.

El sector de los Biocombustibles cuenta con una nueva ley que define su producción y comercialización, ello a través de la Ley 21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2024). Este cuerpo legal define entre otras materias, la futura necesidad de certificación o acreditación de la calidad de la leña, el pellet y el carbón vegetal. Ella especifica, por ejemplo, que la leña que se comercialice en el país, especialmente para su uso en las ciudades, deberá contar con un contenido de humedad máximo de 25%. En Chile existen normas en los registros del Instituto Nacional de Normalización (INN), que describen estos productos y su calidad, según parámetros físicos y químicos. Si bien esta norma ya está vigente en la actualidad, será exigible en el futuro cercano.

Con el apoyo del Fondo de Innovación y Competitividad de la Región del Biobío (FIC) del Gobierno Regional del Biobío, el Instituto Forestal está desarrollando el “Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobío”. Este programa plantea apoyar los esfuerzos para mejorar la competitividad del sector de las energías renovables no convencionales en la región, centrado en la producción y uso de biocombustibles (Leña, pellet, otros) y considera el desarrollo de herramientas que permitan el encadenamiento y fortalecimiento de su gestión productiva y comercial, propiciando al mismo tiempo el abastecimiento sustentable de biomasa en la cantidad y la calidad requerida por el sector de los bioenergéticos en la región y la generación de puntos de encuentro de los sectores relacionados (Pinilla *et al.*, 2024a).

El Programa FIC se originó a partir de las demandas y brechas detectados en la región en torno al uso de la biomasa como materia prima para la generación de energía, a lo que se le agregó los cambios en los aspectos normativos y los nuevos escenarios de producción y comercialización de biocombustibles derivados de la nueva Ley. En este ámbito, el programa desarrolla estudios para generar y difundir información que permita analizar las condiciones actuales de la industria de los Biocombustibles a nivel regional.

El programa considera un monitoreo permanente del sector de los productores de leña con sello de calidad y de plantas productoras de pellet, incluyendo información de los precios de estos biocombustibles y de los principales antecedentes descriptores de este sector, de modo de contar con información de apoyo al desarrollo de políticas regionales y la toma de decisiones por parte de productores. Consecuentemente, el objetivo de este trabajo es presentar los resultados y antecedentes obtenidos sobre el sector de los productores de leña y pellet de la región, el comportamiento de los precios y componentes de tendencia, como insumo para políticas públicas, para el sector productivo y como información para futuros procesos de estimación.

PRODUCCIÓN DE LEÑA EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO

La biomasa forestal es parte importante del consumo energético de la región del Biobío, es utilizada principalmente para calefacción, preparación de alimentos y generación de energía eléctrica, y su formato generalmente corresponde a leña como astillas térmicas.

Según el Observatorio de Biocombustibles de INFOR, el año 2019 se estimó para la Región del Biobío un consumo cercano a 1.963.941 m³, distribuidas aproximadamente entre 416.380 viviendas urbanas y 64.137

viviendas rurales, con un consumo de Leña aproximado de 5,6 m³ sólidos/vivienda/año en sectores urbanos y de 10,2 m³ sólidos/vivienda/año en el sector rural¹.

Según registros del Ministerio de Energía, en la región del Biobío existen 48 productores de leña con sello de calidad, reconocimiento entregado por el Ministerio a través de la Agencia de Sostenibilidad Energética (Agencia SE), con el objetivo de destacar a comercializadores cuyo proceso de producción de leña, les permite generar un producto de calidad. Estos productores se concentran principalmente en las comunas de Hualqui, Los Ángeles y Mulchén (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Productores de leña con sello de calidad en la región del Biobío según comuna.

Comuna	N° de productores	Comuna	N° de productores
Hualqui	8	Cañete	1
Los Ángeles	6	Curanilahue	1
Mulchén	5	Hualpén	1
Concepción	4	Laja	1
Cabrero	3	Los Álamos	1
Tucapel	3	San Rosendo	1
Contulmo	2	Santa Bárbara	1
Coronel	2	Santa Juana	1
Florida	2	Tomé	1
Tirúa	2	Yumbel	1
Arauco	1	Total	48

(Fuente: Ministerio de Energía, 2024. <https://www.sellocalidadlena.cl/#proveedores>)

Los productores de leña con sello de calidad en el Biobío mencionan abastecerse principalmente con *Eucalyptus globulus*, *Acacia dealbata*, *Eucalyptus nitens* y *Pino radiata* entre las especies exóticas, y en el caso de especies nativas, *Nothofagus obliqua*, *N. alpina*, *Persea lingue* y *Peumus boldus* (Pinilla & García, 2024).

A diferencia de otras regiones, cerca del 100% de la leña utilizada en el Biobío proviene de plantaciones con especies exóticas y/o del manejo de rebrotes, o masas asilvestradas de diversas especies. En esta región se destaca también, el uso actual de los terrenos, la necesidad de recuperarlos y el potencial existente para recuperarlos usando especies forestales con fines dendroenergéticos.

CONAF (2024) menciona que en la región del Biobío existirían 89 acopios de leña monitoreados durante el año 2023, los que representan cerca del 15% del total de estos establecimientos en el país. Un “centro de acopio de leña” se define como una ubicación física donde se junta, almacena y procesa leña para su posterior comercialización; se les clasifica según el volumen en metros cúbicos estéreos de leña comercializado anualmente en: Pequeña Escala (menor a 500 m³), Mediana Escala (500-1.000 m³) y de Gran Escala (sobre 1.000 m³).

Según esta clasificación, en la región del Biobío existirían 7 centros de acopio de gran escala, 19 de mediana escala y 63 de pequeña escala, con una producción total de 54.169 m³ estéreos. Los acopios de gran escala concentran el mayor volumen de leña comercializado anualmente, llegando a abarcar un 43% del total, mientras que los centros de mediana y pequeña escala presentan volúmenes comercializados similares entre si (**Cuadro 2**).

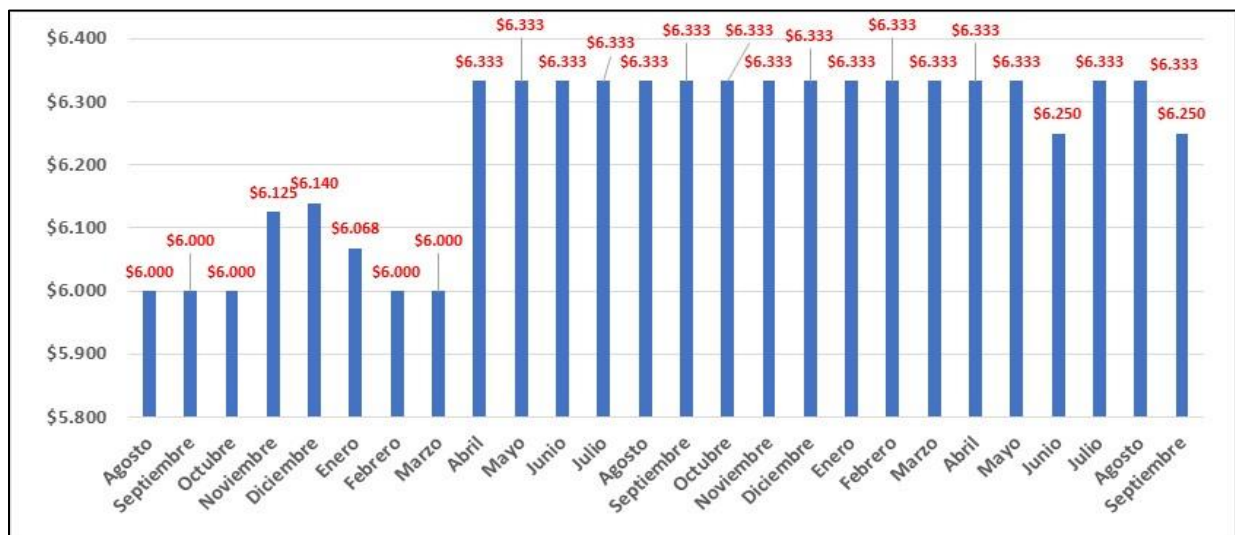
¹<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoib2JmNTVmZTA0NjRhYy00NmE4LWI5NzktYmFYWExMTAxODUwIiwidCI6IjcwZTI3NDhjLTAzN2MtNDIiZi05N2RkLT10ODAxYTc2ZmFYSlslmMiOjR9&pageName=ReportSection>

Cuadro 2. Clasificación según escala de producción y volumen (m³ estéreos) de centro de acopio en la región del Biobío

Escala	N° de acopios	Volumen (m ³ estéreos)
Gran escala	7 (8%)	23.250 (43%)
Mediana escala	19 (21%)	15.700 (29%)
Pequeña escala	63 (28%)	15.219 (28%)
Total	89 (100%)	54.169 (100%)

(Fuente: CONAF, 2024)

Respecto del precio de la leña en la región (**Figura 1**), el estudio de INFOR señala una estabilización durante el año 2024. Al respecto, los productores con sello de calidad manifiestan un encarecimiento en el valor de la materia prima (metro ruma), un incremento del costo de los combustibles fósiles y falta de mano de obra; sin embargo mencionan también que la demanda ha sido estable, lo que ha influido en la estabilidad del precio de la leña, el que se ha mantenido desde hace cerca de un año.



(Fuente: Pinilla & García, 2024)

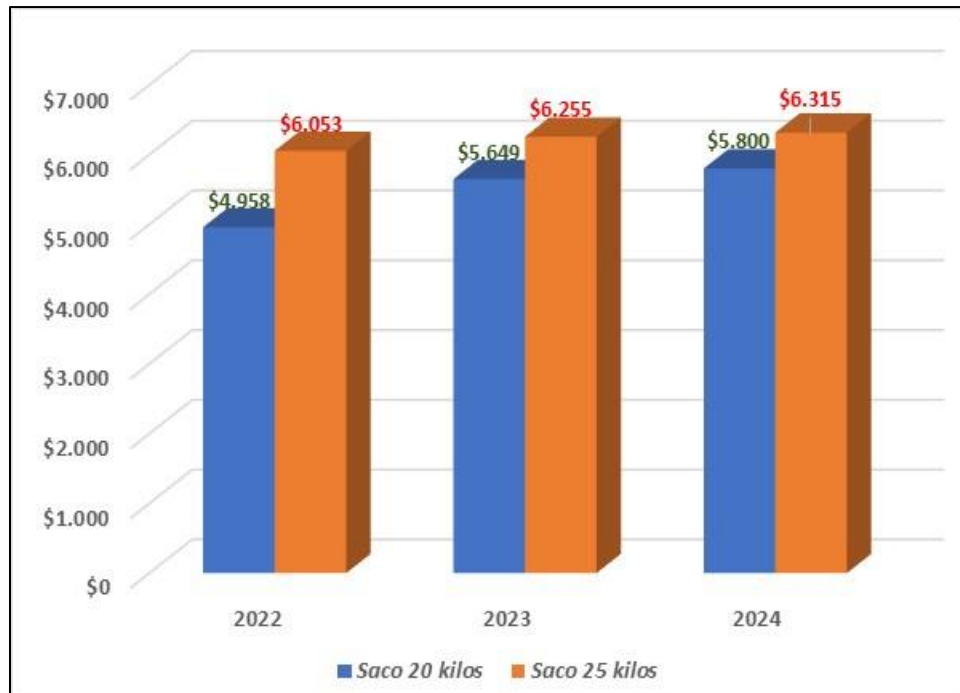
Figura 1. Evolución del precio de un saco de leña de 25 Kg, desde agosto 2022 a septiembre 2024.

Por otra parte, la evolución del precio de la leña en la región del Biobío, ofertada por productores con sello de calidad, en sacos de 20 y 25 kilos a partir del año 2022, presenta un aumento permanente de su valor (**Figura 2**).

Comentarios de los Productores de Leña con Sello de Calidad

El trabajo con productores de leña con sello de calidad, ha permitido obtener información para identificar brechas y caracterizar las particularidades de este sector (**Figura 3**).

Los productores de leña con sello de calidad destacan que les significó varios años de trabajo riguroso y de gran intensidad para cumplir las normas mínimas requeridas para obtener ese sello, y así poder trabajar de forma más segura y en un esquema que promueve un mejor camino económico para los productores. Ahora, en el nuevo escenario legislativo se exigirá y apoyará a los productores que no cuentan con este sello, pero no así a quienes ya cuentan con él, existiendo a su criterio una diferencia que debería subsanarse.



(Fuente: Pinilla & García, 2024)

Figura 2. Evolución del precio del saco de Leña de 20 y 25 kilos en la región del Biobío.



Figura 3. Aspecto general de un acopio de leña de un productor con sello de calidad.

Estos productores certificados destacan también la poca difusión entre la comunidad de los beneficios de contar con sello de calidad, mencionando que existen municipios que no conocen la existencia de estos productores, y que incluso realizan licitaciones que no exigen contar con dicho sello. Agregan que su biocombustible es de calidad y mínimo impacto ambiental cuando se cumplen con las exigencias de la ley; que cumplir tales exigencias tiene un costo que los productores ilegales e informales no asumen, lo que genera que estos venden un producto que no cumple con los estándares mínimos de calidad, generalmente a un menor valor que el de la leña con sello. Agregan además que la reciente actualización de los Planes de Descontaminación Ambiental (PDA) está prohibiendo equipos a combustión lenta, lo que se ve cómo

una barrera a su actividad comercial, algo que va en contra de directrices y programas de fomento a la leña, situación que finalmente afecta a la población usuaria, que deberá invertir en otros sistemas de calefacción, que a diferencia de la leña, son elementos ajenos a su cultura.

Los productores certificados señalan que el panorama futuro se ve con incertidumbre. Necesitan de apoyo directo al rubro, para reducir costos de producción asociados a mano de obra y combustibles, factores que cada vez elevan sus costos; también requieren mejoras laborales y tributarias. Indican la conveniencia de contar con más visibilización, solicitando mayor difusión desde las entidades del Estado para promocionar sus productos, aumentar la producción, capital de trabajo, fomentar los procesos de secado y en general, apoyo y fomento a este sector, más aún con una ley que exigirá más leña de calidad y seca (menos del 25% de contenido de humedad) en los próximos años. Como antecedente señalan que entre noviembre y marzo se puede secar la leña en un mes, pero si se requiere de más leña seca, este proceso debería ser durante todo el año, de ahí lo conveniente de contar con instalaciones de secado.

Para un prototipo de secado se sugiere considerar materialidad, volumen, aislación del suelo, ventilación cruzada. El secador funciona igual que la estufa con aislación y debe ser acorde a los estándares del sitio a construir y normativas involucradas.

Los productores certificados también señalan con preocupación que no observan renovación de la biomasa, es decir de nuevas forestaciones que suministren madera para la producción de leña, aspecto que afectará el valor de la materia prima que requieren.

Herramientas de Gestión para Productores de Leña

En el marco de la nueva ley, que normará la producción y comercialización de Biocombustibles, y de la permanente necesidad de aumento de la productividad y eficiencia económica de estos productores, se han detectado necesidades de capacitación o de apoyo a los productores de leña (Pinilla *et al.*, 2024b).

El Programa FIC para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobío considera generar información y fortalecer las capacidades de pymes de la energía y propietarios forestales. Para tal efecto, se realizó un estudio para generar herramientas de apoyo que permitan estimar la cantidad de astillas a obtener por árbol, según especie y condición de crecimiento en la región del Biobío.

La Norma señala que la leña para ser comercializada no debe estar contaminada o impregnada con barnices, pinturas, preservantes u otras sustancias químicas correspondientes a tratamientos de la madera, particularmente si éstos son tóxicos y/o cuya combustión pueda dar origen a compuestos orgánicos persistentes (COP).

En relación al tamaño, las astillas deben cumplir lo recomendado por el fabricante del artefacto donde se utiliza, ya sea cocinas, estufas, calefactores, equipos industriales y otros, estableciéndose que las dimensiones de los leños deben ser de un largo de 25 cm y 15 cm de ancho, en promedio, para asegurar el secado bajo 25% de humedad y asegurar una estandarización de la leña.

El estudio contempló las especies a utilizar, la selección de rodales y árboles donde a partir de variables de fácil medición del árbol, poder obtener la cantidad de astillas de acuerdo con las características exigidas por la Norma Chilena 2907 / 2005². Ello considera la recolección de datos correspondientes a partir del volteo de árboles según especie, trozado, producción de astillas de leña y su equivalencia en volúmenes de interés (**Figura 4**).

² La Norma Chilena NCh 2907-2005 establece categorías para la leña según su contenido de humedad, siendo la leña seca aquella con un contenido de humedad en base seca igual o menor a 25%. En general, La Norma Chilena 2907 / 2005 establece la clasificación y requisitos de calidad que debe cumplir la leña para ser empleada como combustible sólido, la cual se aplica a la leña que se utiliza como combustible en los sectores residencial, comercial e institucional. Esta no se aplica a los desechos forestales, industriales, desechos leñosos de distinto origen y otros productos originados a partir de madera densificada como briquetas y pellet, entre otros.



Figura 4. Proceso de producción de leña para estudio de estimación de número de astillas por árbol

Los resultados obtenidos al trabajar con las especies *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* y *Acacia dealbata* en cuanto al número de astillas por árbol y m^3 se presentan en el **Cuadro 3**.

El estudio generó modelos para la estimación del número de astillas por árbol según variables del árbol y especie (**Cuadro 4**), concluyéndose que para las especies utilizadas el DAP permitiría estimar la cantidad de astillas según la norma factible de obtener a partir de un árbol. Se concluye también que es posible desarrollar este tipo de investigación en terreno, y generar la información demanda por el sector forestal y el de la energía.

Cuadro 3. Resumen de resultados obtenidos en la estimación del número de astillas por árbol según especie y formato (valores por m³).

Especie	Variable	Valor Medio	Valor Mínimo	Valor Máximo
<i>A. dealbata</i>	Nº de astillas	296	189	398
<i>E. globulus</i>	Nº de astillas	204	112	336
<i>E. nitens</i>	Nº de astillas	238	192	292
<i>A. dealbata</i>	m ³ ordenado	0,82	0,47	1,22
<i>E. globulus</i>	m ³ ordenado	0,68	0,29	1,5
<i>E. nitens</i>	m ³ ordenado	0,78	0,58	0,94

(Fuente: Pinilla *et al.*, 2024)**Cuadro 4.** Modelos generados para estimación del número de astillas por árbol según especie y variables.

Especie	Modelo	R ² (*)	Variables
<i>Eucalyptus globulus</i>	$Y = 0,0072X + 41,316$	0,91	Y: Número de astillas
	$Y_1 = 14,844X_1 - 180,86$	0,87	X: índice Biomasa (DAP ² *H)
<i>Eucalyptus nitens</i>	$Y = 0,0052X + 90,813$	0,35	DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)
	$Y_1 = 14,778X_1 - 147,51$	0,64	H: Altura total (m)
<i>Acacia dealbata</i>	$Y = 186,22 \text{ Ln}(X) - 1575,5$	0,79	Y ₁ : Número de astillas
	$Y_1 = 18,15X_1 - 158,55$	0,64	X ₁ : Diámetro a la altura del pecho (cm)

(Fuente: Pinilla *et al.*, 2024)

(*) Coeficiente de determinación, valor que determina la calidad del modelo y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo.

Es necesario seguir desarrollando este tipo de estudios, a fin de generar herramientas útiles para productores de leña y para quienes se relacionan con este rubro, de modo de contar con más y mejores antecedentes en beneficio del sector. Ello implica el desarrollo de herramientas digitales para la utilización de los modelos en forma sencilla, por ejemplo, a través de un celular. Se requiere, además, aumentar el número de árboles y especies para la validación del modelo y utilizar también, especies nativas en este tipo de análisis.

PRODUCCIÓN DE PELLET EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO

El pellet de madera, se ha consolidado como un recurso energético de gran relevancia en la actualidad. Este combustible sólido, obtenido a partir de la compactación de residuos de madera, ha experimentado en el país un permanente incremento en su demanda. Esta creciente preferencia se ha basado en su eficiencia como fuente de energía renovable, y su papel en la reducción de la contaminación ambiental de las ciudades. A medida que la conciencia ambiental se ha fortalecido, el pellet ha emergido como una alternativa más sostenible y amigable con el medio ambiente, lo que ha impulsado su adopción en diversas aplicaciones, desde sistemas de calefacción residencial hasta instalaciones industriales. Este aumento constante en la demanda refleja la búsqueda continua de soluciones energéticas más limpias y viables, estableciendo al pellet como un protagonista en la transición hacia una matriz energética más sostenible. Al mes de agosto del 2024 existen cerca de 58 empresas de Pellet en el país, con una mayor concentración, 15 de ellas, en la región del Biobío (**Cuadro 5, Figura 5**). La región del Biobío se establece como la de mayor cantidad y proporción de plantas productoras de Pellet en el país, con el 26% del número de ellas, concentrando cerca del 75% de la producción total, estimada en cerca de 250.000 ton durante el año 2023.

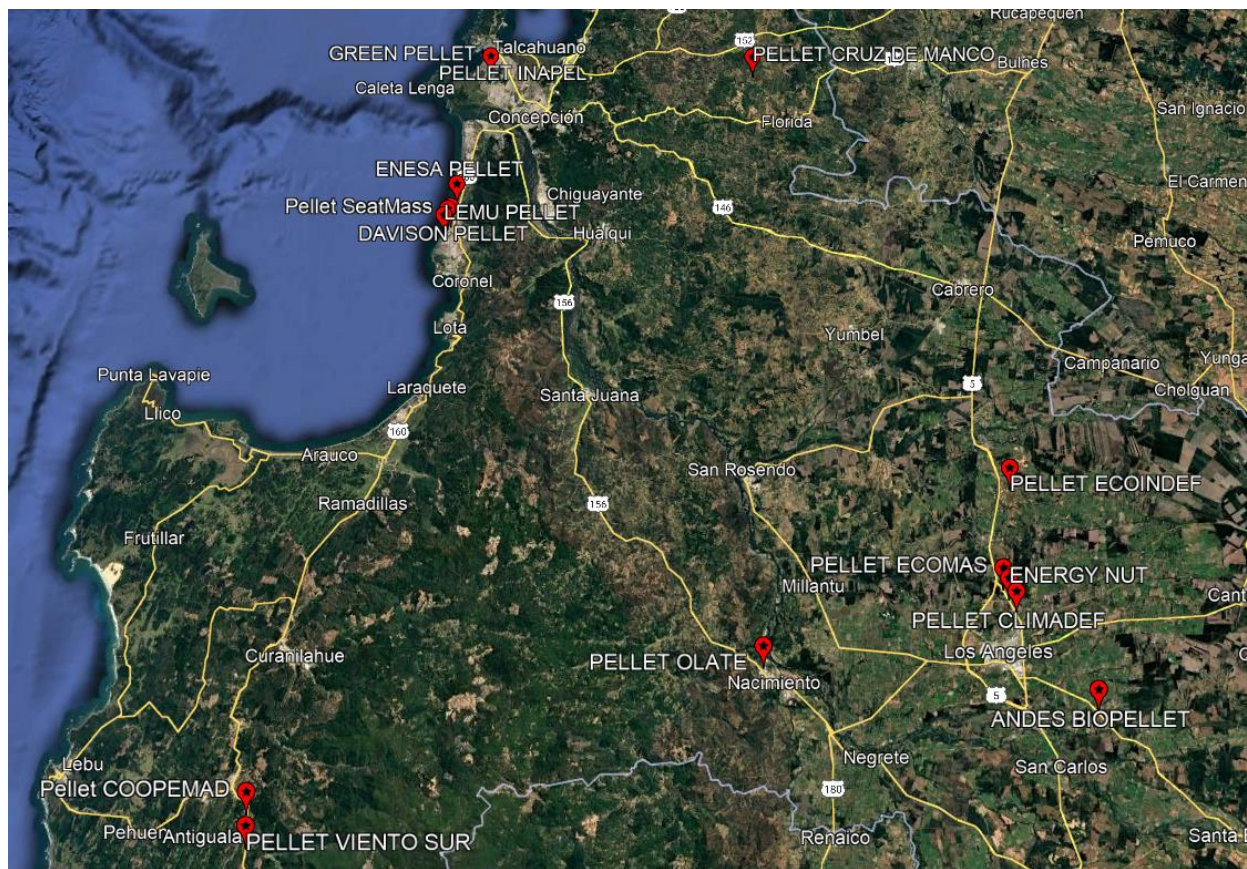
En cuanto al consumo de biocombustibles, el 57% de las casas del Gran Concepción utiliza leña, mientras que solo el 8% usa pellet. Del mismo modo, la comuna que más usa pellet es Chiguayante (17%), mientras que las de menor uso son Tomé (0%) y Hualpén (2%), con un promedio de 1.192 Kg/año³.

³ INFOR, Consumo de leña y otros biocombustibles sólidos en el Gran Concepción, año base 2023

Cuadro 5. Plantas de pellet según región.

Región	N° de plantas	Biobío	N° de plantas
Valparaíso	2		
Metropolitana	5		
O'Higgins	2	Concepción	1
Maule	10	Coronel	4
Ñuble	2	Florida	1
Biobío	15	Nacimiento	1
La Araucanía	8	Los Álamos	2
Los Ríos	9	Los Ángeles	5
Los Lagos	2	Talcahuano	1
Aysén	1	Total	15
Magallanes	2		
Total	58		

(Fuente: Pinilla y García, 2024)



(Fuente: Pinilla y García, 2024)

Figura 5. Plantas de Pellet en la región del Biobío

Las situaciones que ha enfrentado este biocombustible, derivadas del incremento de su demanda, han generado que las empresas productoras aumenten su producción, y en forma paralela una creciente preocupación de los consumidores por abastecerse de este producto, y que este cumpla con una calidad mínima.

Según el Ministerio de Energía, y la Mesa del Pellet (Ministerio de Energía, 2023), el crecimiento del sector productivo ha sido constante en los últimos años, donde en 2023, el crecimiento productivo fue cercano al 15%, derivado principalmente de los esfuerzos de distintas entidades por disminuir los escenarios de contaminación ambiental en ciudades de alta polución. Ello implica también un constante crecimiento por la demanda de biomasa de calidad adecuada para su utilización, de modo de asegurar la calidad final del pellet de madera y evitar situaciones que afecten el confort en los hogares y el funcionamiento de las estufas.

La industria del pellet está estrechamente relacionada con la industria del aserrío, especialmente en la región del Biobío, debido a que en esta región se concentra gran parte de la actividad del aserrío asociada a *Pinus radiata*, especie utilizada en el 98% de los casos para la producción de pellet en el país. Ello porque la viruta y aserrín son la materia prima del pellet, y porque las empresas productoras en general no utilizan su materia prima directamente desde el bosque.

Por otro lado, existe disponibilidad de viruta o aserrín húmedo, la cual requiere equipos de monitoreo de este parámetro, y también, disponer de procesos de secado para su posterior uso en la producción de pellets (12% CH).

Precios del Pellet y Comentarios de Productores del Biobío

Se prospectó los valores de venta de pellet en la región del Biobío, particularmente del precio puesto en planta o centro de distribución de la empresa productora, en formato de bolsas de 15 Kg. Según los datos (Figura 6), en el largo plazo se observa una tendencia a disminuir el precio. En efecto, en 2024 el valor de la bolsa de 15 Kg de pellet alcanzó en promedio los \$4.280, valor más bajo que el observado en 2023 cuando llegó a \$5.225. Este escenario se origina, según los productores, en una mayor oferta del producto derivado de un aumento de la producción y por la existencia de un stock en las plantas productoras. Este aumento en la producción se origina por los previos problemas de abastecimiento de pellet que afectaron a la población, escenario que las plantas productoras no quieren repetir de modo de no afectar su imagen y confianza del consumidor.



(Fuente: Pinilla & García, 2024)

Figura 6. Evolución del precio de la bolsa de pellet (15 k) en la región del Biobío en periodo diciembre 2022 a septiembre 2024

Se destaca que no habría problemas de abastecimiento de pellet para el año 2024 y que se ha consolidado el formato de venta en bolsas de 15 Kg.

La Mesa Nacional del Pellet ([Ministerio de Energía, 2023](#)) concluyó su trabajo el año 2023, sugiriendo implementar acciones en el corto plazo para evitar la estrechez en el suministro de este biocombustible, una propuesta para desarrollar el sector en el mediano y largo plazo, y un paquete de medidas con eje en la producción, la certificación y la disponibilidad de información tanto para productores como para consumidores de pellet. Este trabajo señaló la necesidad de priorizar brechas relevantes al momento de asegurar la disponibilidad de este biocombustible en el mercado y con ello, el bienestar de los usuarios, centrandone una de ellas en información sobre oferta y consumo de pellet, y metodologías para la estimación y proyección de demanda y oferta de pellet, entre otros.

En general, se han detectado diferentes brechas detectadas a partir del trabajo de distintas instituciones y de los productores de pellet, las que se pueden resumir en:

- No existe información permanente y actualizada en ámbitos de oferta y consumo de pellet, y otros antecedentes relacionados.
- Se requiere conocer la disponibilidad real de materia prima para la producción de pellet por región, así como los desarrollos tecnología e innovaciones en las distintas etapas de la cadena de valor del pellet para aumentar la disponibilidad de materia prima.
- Asegurar la calidad del pellet, cumpliendo con parámetros exigidos según la nueva normativa a implementar.
- Analizar opciones del modelo de producto, estableciendo requerimientos y costos sobre la utilización de la biomasa extraída directamente desde el bosque para su uso en la producción de pellet.
- Opciones para aumentar el abastecimiento de biomasa forestal para su uso en la producción de pellet.

En general, las empresas productoras de pellet de la región del Biobío expresan su preocupación al seleccionar la calidad de la biomasa que utilizan, para producir un biocombustible adecuado, con un monitoreo permanente de la disponibilidad de la materia prima necesaria que permita satisfacer la demanda creciente. Reconocen que usar biomasa con contaminantes y de una humedad no adecuada, genera problemas en la fabricación del pellet y en su calidad, lo que puede causar daños a los equipos pelletizadores y una potencial pérdida de clientes consecuencia de un producto de mala calidad. El uso de pellet inadecuado genera una mayor cantidad de ceniza en la estufa, lo que implica mayor frecuencia de limpieza (problemas de almacenamiento del pellet o manipulación de los equipos de combustión).

Las empresas regionales de pellet manifiestan necesidad de apoyo para fortalecerse en aspectos relativos a abastecimiento de materia prima, tecnologías, automatización, recursos humanos y otros, siendo un tema recurrente el de promover el consumo y aumentar la venta de este biocombustible. También señalan su inquietud ante la continuidad del programa de recambio de equipos de calefacción del Ministerio de Medio Ambiente y Gobiernos Regionales, ya que este programa ha significado un fomento permanente a la utilización del pellet. También mencionan que es necesario realizar un monitoreo permanente de la disponibilidad e idoneidad de la materia prima para asegurar la calidad del pellet, así como difundir las implicancias de la Normativa y de las opciones de certificación y monitoreo para el beneficio y bienestar de los usuarios finales.

DISCUSIÓN

El incremento de la actividad económica del mercado de los biocombustibles en la región del Biobío requiere de información permanente y actualizada en favor de actuales y potenciales productores, entidades relacionadas y usuarios en general. Esta información es necesaria para la planificación y toma

de decisiones a distintos niveles. A lo anterior se agrega los requerimientos de la Ley N°21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía, la que regula la producción y comercialización de los biocombustibles sólidos.

La información es un valor de relevancia para la competitividad del negocio, y se traduce también en los costos de producción, necesidades de inversión, cantidad y calidad de la biomasa a utilizar, su disponibilidad y seguridad de abastecimiento, las normativas que se exigirán, requerimientos de calidad, opciones de apoyo para el monitoreo de la calidad, relación con los usuarios, capital humano para instalación y mantención de equipos, requerimientos del mercados, opciones de apoyo y fomento y nuevas tecnologías disponibles, entre otras.

Existe concordancia en cuanto a que la producción de leña y pellet en la región del Biobío enfrentará desafíos relacionados con la cantidad y calidad de la biomasa utilizada en su producción, con escenarios de menor disponibilidad de materia prima. Ello de acuerdo con las superficies con especies forestales y la actividad de la industria del pellet, entre otros factores.

Existe también coincidencia en la necesidad de una transferencia permanente de conocimiento y de tecnología en relación con la cadena de procesos para producir biocombustibles, incluyendo ahora, aspectos normativos, de control de calidad del producto final y de la información de las entidades y procesos que serán responsable de este monitoreo.

Se requiere, además, de estudios que incorporen y difundan aspectos de eficiencia económica de diferentes tipos de soluciones para abastecer y asegurar la disponibilidad de materia prima para la industria de los biocombustibles. Esto implica un análisis a distintas escalas y de tecnologías disponibles y/o adaptables para el uso de este tipo de material y de los requerimientos para asegurar su calidad, y con ello, su presencia en los mercados.

CONCLUSIONES

A nivel de productores de biocombustibles, en la región existe interés por conocer los aspectos principales de la implementación de la Ley de Biocombustible, y de sus exigencias para la producción y comercialización de leña y pellet. Al respecto, resultan de interés los temas relacionados con las normas o reglamentos en desarrollo, y los futuros procesos de certificación o acreditación de la calidad de los biocombustibles.

Los productores de leña mencionan que para enfrentar en mejores condiciones los requerimientos de la Ley de Biocombustibles, necesitan contar con opciones de capital de trabajo para apoyar la adquisición de bosques, procesos de secado de la leña, infraestructura, equipos para el procesamiento y monitoreo de leña. Mencionan también su inquietud en cuanto a poder contar con materia prima para sus procesos productivos, y una importante preocupación por su sustentabilidad, derivada de una menor actividad de forestación, mencionando la conveniencia de un nuevo subsidio específico para fomentar las plantaciones.

Adicionalmente, considerando la exigencia de solo comercializar leña con un máximo de 25% de contenido de humedad, los productores de este biocombustible están requiriendo de opciones para implementar procesos de secado artificial, de modo de poder llegar al 100% de leña seca para su oferta al mercado.

Los productores de biocombustibles también señalan la necesidad de una mayor coordinación entre productores, así como con las entidades relacionadas con la producción de biocombustibles, y destacan la conveniencia de contar con programas permanentes de capacitación y desarrollo de capital humano. En este escenario coinciden en la necesidad de involucrar al usuario o consumidor, de modo que este sector colabore con la nueva institucionalidad, siendo conveniente desarrollar programas de difusión de buenas prácticas para el consumo de biocombustibles.

En el sector del pellet los productores de la región están conscientes de la necesidad de seleccionar y utilizar biomasa de adecuada calidad para poder generar un biocombustible que cumpla con las exigencias

de los usuarios y de la nueva Ley. Los productores reconocen que el usar biomasa húmeda o contaminada genera serios problemas en la fabricación de pellet y su calidad, con posibles daños a los equipos pelletizadores y especialmente, el riesgo de perder clientes.

El sector está permanentemente monitoreando la disponibilidad de la materia prima necesaria para satisfacer la demanda creciente, observando períodos como el actual, en donde este factor no sería un problema. Es este sentido, es clara la necesidad de esfuerzos para aumentar el consumo de pellet y/o de políticas regionales que incentiven su utilización, especialmente en una región que es la capital de la industria del aserrío, que genera la materia prima para la producción del pellet.

Es importante educar al consumidor y que las empresas de estufas también participen de este proceso en el tema de uso de los artefactos. Un uso inadecuado del pellet por los usuarios puede generar una mayor cantidad de ceniza en la estufa, lo que implica mayor frecuencia de limpieza (problemas de almacenamiento del pellet o manipulación de las estufas), generando molestia entre los usuarios y quejas hacia los productores de pellet.

La generación de biomasa para energía es una alternativa de desarrollo rural para pequeños y medianos propietarios de la región del Biobío, que agrega valor a suelos actualmente improductivos, mediante el establecimiento de plantaciones forestales y/o el manejo de masas asilvestradas o retoños con fines energéticos.

Los nuevos escenarios para los biocombustibles en Chile implican importantes desafíos y nuevos procesos, pero también una gran oportunidad para el manejo sustentable de los bosques y la bioeconomía de la región. Al respecto, los productores están atentos a la nueva Ley y a los cambios que puedan realizarse para la producción y comercialización de leña y pellet. Frente a este nuevo escenario normativo, los productores mencionan lo conveniente de conocer los procesos y requerimientos, y de la oferta de entidades que puedan prestar los servicios de monitoreo de la calidad de este biocombustible, y de su costo. Reconocen que la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, será la encargada por Ley de monitorear la calidad de los biocombustibles, por lo que esperan conocer pronto de esta información.

Para aprovechar las oportunidades y ventajas de la nueva Ley de Biocombustibles se requiere de una adecuada coordinación entre distintos estamentos públicos y privados, con lugares de encuentro y conversación de modo de aprovechar en un ambiente de confianza, todo el potencial de la región, considerando en ello las visiones y consideraciones de todos los participantes en este sector.

Los resultados obtenidos son interesantes, pero se requiere mantener este monitoreo para disponer de estadísticas y series de tiempo sólidas, que apoyen y contribuyan a diversificar las fuentes de materia prima para la producción de biocombustible. Esta información es un insumo para definir propuestas de fomento y políticas regionales para la adecuada producción, comercialización y uso de los biocombustibles generados en la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo de Innovación y Competitividad de la Región del Biobío (FIC-R) del Gobierno Regional del Biobío, por el apoyo a la ejecución del programa “Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobío”, Código BIP: 40036155-0, en cuyo marco se generó esta publicación.

REFERENCIAS

CONAF. (2024). Caracterización de acopios de leña 2023. Unidad de Dendroenergía. Gerencia de Conservación de Ecosistemas Boscosos y Xerofíticos. Corporación Nacional Forestal. Ministerio de Agricultura. 36 p.

- Ministerio de Energía. (2023).** Propuesta desde la mesa del pellet para el desarrollo del sector. Documento orientador. Ministerio de Energía Gobierno de Chile. 32 p.
- Ministerio de Energía. (2024).** Ley N° 21499 Regula los biocombustibles sólidos. En: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1183783>
- Pinilla, J., Luengo, K., Navarrete, M. & Navarrete, F. (2022).** Antecedentes de abastecimiento de biomasa con fines energéticos, el caso del pellet en Chile. Ciencia & Investigación Forestal, 28(2): 57-69. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.565>
- Pinilla, J. & García, J. (2024).** Precio de la Leña en la región del Biobío. Reporte interno de proyecto “Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobío”. Instituto Forestal. Concepción, Chile.
- Pinilla, J., Luengo, K.; Navarrete, M.; Navarrete, F.; García, J. & Casanova, K. (2024a).** Programa FIC-R Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobío. Instituto Forestal, Sede Biobío, Concepción. Documento de Trabajo de proyecto.
- Pinilla, J., García, J., Navarrete, M., Navarrete, F., Casanova, K. & Luengo, K. (2024b).** Modelo de productividad para la estimación de leña en las principales especies forestales utilizadas en la región del Biobío. Instituto Forestal. Documento Divulgativo. 38 p.



ARTÍCULO

Vulnerabilidad de los bosques de montaña al cambio climático: primeros resultados de una investigación a largo plazo en la Comuna de Panguipulli, Chile.

Joceline Rose^{1*}, Sabine Müller-Using Wenzke¹ & Yasna Rojas Ponce¹

¹ Instituto Forestal, sede Los Ríos. Valdivia, Chile. jrose@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.618>

Recibido: 4.12.2024; Aceptado 9.12.2024

RESUMEN

El presente estudio analiza la vulnerabilidad de los bosques de montaña al cambio climático, basado en una evaluación de la exposición y sensibilidad de las especies arbóreas dominantes de cuatro tipos forestales a lo largo de un transecto altitudinal en la comuna de Panguipulli, Región de Los Ríos, Chile, entre el año 2013 y 2023.

La vulnerabilidad estimada en un inicio del periodo del estudio fue baja para los tipos forestales Roble-Raulí-Coihue y Coihue-Raulí-Tepa y alta para los tipos forestales Lenga y Araucaria. Basado en el monitoreo de las condiciones de bosque en 22 parcelas permanentes, se observó un mayor crecimiento para los rodales del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue y Coihue-Raulí-Tepa y un menor crecimiento para Lenga y Araucaria, lo que se condice con el crecimiento esperado debido a que los dos últimos tipos forestales forman el límite altitudinal en esta localización. En términos de distribución de especies arbóreas, no se observó cambios de especies entre los rangos de elevación o tipos forestales a lo largo del transecto altitudinal.

Para evaluar si el crecimiento observado se ve afectado por el cambio climático, es necesario realizar un análisis detallado del crecimiento a nivel de especies dominantes, además de un análisis de la regeneración natural y de la vegetación acompañante, para poder proporcionar información básica para la detección temprana de cambios en la estructura y distribución de las especies a lo largo del gradiente altitudinal.

Palabras clave: Bosques de montaña, bosque templado lluvioso valdiviano, vulnerabilidad, cambio climático

SUMMARY

The present study analyzes the vulnerability of mountain forests to climate change based on an evaluation of the exposure and sensitivity of the dominant tree species of four forest types along an altitudinal transect in the commune of Panguipulli, Los Ríos Region, Chile, between 2013 and 2023.

The vulnerability estimated at the beginning of the study period was low for the Roble-Raulí-Coihue and Coihue-Raulí-Tepa Forest types and high for the Lenga and Araucaria forest types. Based on the monitoring of forest conditions in 22 permanent plots, higher growth is observed for the stands of the Roble-Raulí-Coihue and Coihue-Raulí-Tepa forest types and lower growth for Lenga and Araucaria, which is consistent with the expected growth because the last two forest types form the altitudinal limit in this location. In terms of tree species distribution, no species changes were observed between elevation ranges or forest types along the altitudinal transect.

In order to evaluate if the observed growth development is affected by climate change, it is necessary to carry out a detailed growth analysis at dominant species level. In addition, an analysis of natural regeneration and accompanying vegetation is necessary to be able to provide background information for early detection of changes in the structure and distribution of species along the altitudinal gradient.

Key words: Mountain forests, Valdivian temperate rainforest, vulnerability, climate change

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales de montaña se encuentran entre las regiones con mayor biodiversidad del mundo, ya que albergan el 85% de las especies de anfibios, mamíferos y aves a nivel global y casi una cuarta parte de los bosques del mundo se encuentran en regiones montañosas (Körner 2007; Rahbek *et al.*, 2019). La naturaleza compleja y heterogénea de la biogeografía y el clima de los ecosistemas forestales de montaña han limitado el estudio de su vulnerabilidad en el pasado, en comparación con otros ecosistemas forestales (Thakur *et al.*, 2021). La mayoría de los estudios identificados por Thakur *et al.* (2021) utilizan enfoques basados en modelos y escala regional, con solo unos pocos estudios de evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales a escala local.

Un ejemplo de tales estudios son los de vulnerabilidad al cambio climático del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue en las regiones del Ñuble, Los Ríos y Los Lagos (Bahamóndez *et al.*, 2021; 2022; 2023), que se basan en los datos del Inventario Forestal Nacional de Chile, combinado con un modelo eco-fisiológico y análisis económico del uso maderero de los bosques. Uno de sus resultados es que la vulnerabilidad disminuye de norte a sur y es menor en los bosques de la cordillera que en aquellos del valle o la cordillera de la costa. En el caso de la Región de Los Ríos, la vulnerabilidad fue evaluada como alta en la comuna de Valdivia y Panguipulli (Bahamóndez *et al.*, 2021).

Al mismo tiempo, varios estudios han identificado que los ecosistemas de montaña son especialmente vulnerables al cambio climático y que las tasas de calentamiento son más rápidas a mayor altitud (Chakraborty, 2019; Delgado *et al.*, 2016; Freeman *et al.*, 2021; Pepin *et al.*, 2015). Esto pone de relieve la importancia de comprender cómo está afectando el cambio climático a los ecosistemas forestales de montaña, con el fin de desarrollar decisiones políticas, de conservación y de gestión eficaces a nivel local. Con este fin y el de desarrollar herramientas de gestión para la adaptación en cinco países de América Latina, entre ellos Chile, se ha implementado la iniciativa de investigación Climiforad en el año 2013 (Delgado *et al.*, 2016).

Los estudios realizados en este contexto usaron la metodología de evaluación de la vulnerabilidad sugerida por el IPCC (2007), la cual se basa en un enfoque socio-ecológico y utiliza tres elementos para describir la vulnerabilidad de un ecosistema y/o territorio: (i) La exposición al cambio climático; (ii) la sensibilidad de un ecosistema o especie específica a este; y (iii) la capacidad adaptativa social. La combinación de estos tres elementos determina finalmente la vulnerabilidad.

En Chile, el área de estudio comprendida en esta iniciativa es la comuna cordillerana de Panguipulli, ubicada en la región de Los Ríos, dentro de uno de los 36 *hotspots* globales de biodiversidad, precisamente en el de los Bosques Templados Lluviosos Valdivianos (CEPF, 2019). El presente estudio muestra la línea base de 2013 y primeros resultados después de 10 años de observación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio corresponde al límite administrativo de la comuna de Panguipulli, provincia de Valdivia en la región de Los Ríos, ubicada entre los 39.73°S a 39.92°S de latitud y 71.83°E a 73.97°E de longitud en el centro-sur de Chile (Figura 1). La superficie de la comuna abarca 3.292 km² y cuenta con 34.539 habitantes, de los cuales el 55,8% vive en zonas rurales y el 42,8% pertenece a pueblos originarios, mayoritariamente al pueblo Mapuche (INE 2017).

La topografía de la comuna es de carácter cordillerano, dominado por montañas, quebradas abruptas asociadas a fenómenos de erosión glacial y montañas andinas con alturas de hasta 2.840 metros, que corresponden al Volcán Villarrica y al Volcán Mocho Choshuenco.

Según Köeppen-Geiger, adaptado por Sarricolea *et al.* (2017), el clima de la comuna está clasificado como templado lluvioso, con estación cálida y seca en verano (Cfb(s)). En las áreas de mayor altura de la comuna

se clasifica como templado mediterráneo con influencia montañosa y estación cálida en verano Csb(h) y templado mediterráneo con estación templada en verano (Csc) (Sarricolea *et al.*, 2017). La precipitación promedio anual del período histórico reciente (1980-2010) es de 2.558 mm en la ciudad de Panguipulli y de 4.440 mm en Puerto Fuy en el Lago Pihueico (ARClím, 2020). Entre los años 2013 y 2023, el promedio anual de temperatura fue de 8,7°C, con una temperatura promedio de 12,2°C en verano, 3,73°C en invierno y una precipitación promedio anual de 3.095 mm (ARClím, 2020).

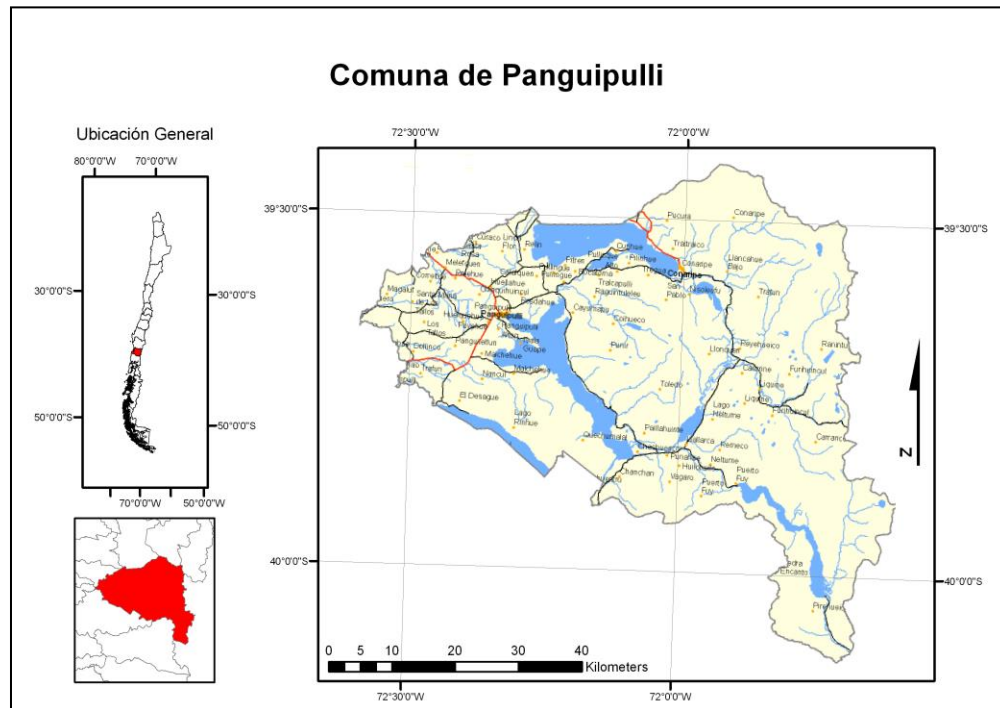


Figura 1: Mapa de ubicación de la comuna de Panguipulli

Los suelos de sectores de menor elevación en la comuna de Panguipulli son principalmente suelos trumaos derivados de cenizas volcánicas, profundos, con altos contenidos de materia orgánica y una alta capacidad de retención de humedad (Beinroth *et al.*, 1985). Los sectores de mayor elevación de la Cordillera de los Andes presentan suelos trumaos derivados de vidrios volcánicos, con texturas gruesas, una fuerte estratificación, baja fertilidad y baja retención de humedad (Beinroth *et al.*, 1985).

Los bosques nativos de la comuna de Panguipulli son bosques templados y forman parte de la ecorregión del bosque lluvioso templado valdiviano. La superficie total de bosque nativo en la comuna cubre el 64% y abarca 212.868 hectáreas distribuidos en 5 tipos forestales (CONAF, 2014; Cuadro 1).

Cuadro 1: Superficie de tipos forestales en la Comuna de Panguipulli, Los Ríos, Chile.

Tipo forestal	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Coihue-Raulí-Tepa	97.079	46%
Roble-Raulí-Coihue	60.121	28%
Lenga	37.879	18%
Araucaria	13.960	7%
Siempreverde	3.829	2%
TOTAL	212.868	100%

Muestreo de Datos

Se estableció 22 parcelas permanentes de 0,25 hectáreas (50 x 50 m) en bosque nativo del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue, Coihue-Raulí-Tepa, Lenga y Araucaria, cubriendo transectos altitudinales en rangos sobre 600, 800 y 1.000 msnm, con exposición norte y sur respectivamente (**Cuadro 2**).

Cuadro 2: Características generales de las parcelas permanentes.

Tipo Forestal	Parcela	Exposición	Altitud (msnm)	Coordenadas UTM	
Roble-Raulí-Coihue	1	Norte	667	248465	5581561
	15	Sur	669	252241	5582547
	16	Sur	722	251490	5582516
	17	Sur	668	251535	5582108
	18	Norte	721	247723	5586539
	19	Norte	813	248432	5586562
Coihue-Raulí-Tepa	4	Norte	650	247490	5582277
	5	Norte	725	249445	5580400
	10	Norte	858	256404	5593758
	11	Sur	806	243895	5596933
	12	Sur	914	253526	5584247
	13	Sur	887	253736	5583896
Lenga	14	Sur	917	252953	5584049
	2	Norte	1072	245847	5579452
	3	Norte	1236	245229	5578208
	6	Norte	1278	246228	5577904
	7	Sur	1249	253141	5586501
	8	Sur	1247	253723	5586817
Araucaria	9	Sur	1224	253460	5586434
	20	Norte	1000	254592	5627075
	21	Norte	1200	254657	5627624
	22	Sur	1200	255179	5628213

Las parcelas fueron ubicadas al interior del borde del rodal, para evitar una alteración de la vegetación por efectos externos e influencia de caminos, además alejadas de cursos de agua (distancia mayor a 50 m) y de pendientes fuertes. Se les demarcó sus 4 vértices con estacas de madera de 1,5 m, pintadas con pintura de color en su mitad superior y señalando el número del vértice. En cada parcela se estableció un área *buffer* de 10 m, quedando una parcela efectiva de levantamiento de 0,16 ha (40 x 40 m). En su interior se delimitó 3 subparcelas de 2 x 1 m, en el eje de mayor pendiente.

En cada parcela se registró, a nivel de especie, a todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 10 cm y se les midió su altura total. El DAP se midió con cinta diamétrica y la altura con hipsómetro Vertex.

El levantamiento de datos se realizó en todas las parcelas en el año 2013, 2015, 2017, 2020 y 2023. La parcela 4 solo se levantó en el año 2013 y luego fue eliminada de la base de datos debido a una intervención mayor en el sitio. Todos los datos tomados en campo fueron digitalizados en una base de datos Excel.

Análisis de Datos

Para obtener grupos de especies arbóreas características de los rangos altitudinales del estudio (600, 800 y 1.000 msnm), se realizó un análisis de clasificación ascendente jerárquica mediante el paquete estadístico XLSTAT 2009. Este análisis se realizó con los datos de árboles con DAP igual o superior a 10 cm del primer levantamiento en el año 2013 para los tipos forestales Roble-Raulí-Coihue, Coihue-Raulí-Tepa y Lenga, separado por exposición norte y sur.

En el marco del análisis de vulnerabilidad se evaluó la exposición y sensibilidad al cambio climático en base a la metodología del IPCC (2007), adaptada para la iniciativa de investigación Climiforad (Delgado *et al.*, 2016). La exposición se evaluó mediante datos climáticos históricos y simulaciones sobre proyecciones futuras, determinándose en base a consultas a expertos, si el cambio producido en el clima se consideraba alto, medio o bajo (Delgado *et al.*, 2016). El análisis de sensibilidad se basa en las características de las especies arbóreas dominantes, considerando como tales a las que conforman más del 80% del área basal por parcela. Para esto, se clasificó a las especies dominantes en los tipos adquisitivo o conservativo (Díaz *et al.*, 2004) de acuerdo a sus rasgos funcionales: Masa de semillas, método de dispersión, altura máxima, densidad de madera y tasa de crecimiento. Las especies arbóreas de tipo funcional adquisitivo corresponden a especies pioneras, con semillas pequeñas dispersadas por el viento, con relativamente rápida tasa de crecimiento y capacidad de adquisición de recursos. Las del tipo funcional conservativo, por el contrario, son especies de crecimiento lento, que tienden a conservar recursos, sus semillas son grandes y se dispersan principalmente por aves y mamíferos medianos y grandes.

Se analizó también el rango de distribución de cada especie en el área de estudio, categorizándolas como especies de distribución restringida, mediana o amplia, de acuerdo a la variedad de tipos forestales en que se presentan. Una especie que se encuentra en un solo tipo forestal se consideró de distribución restringida; aquellas presentes en dos tipos forestales como de distribución intermedia; y a las presentes en tres o más tipos forestales se les consideró de distribución amplia. Mediante la combinación del tipo funcional y la distribución se estimó el nivel de sensibilidad de cada especie dominante a cambios en el clima.

La caracterización arbórea de las parcelas se realizó por tipo forestal para los años 2013 y 2023 en base al diámetro a la altura del pecho (DAP), altura dominante de los 16 árboles con mayor DAP por parcela (Hdom), el área basal por hectárea (AB) y número de árboles por hectárea (N). Los cálculos de los parámetros por parcela se realizaron con el software Excel y luego se calculó el promedio, desviación estándar, valor mínimo y máximo de cada parámetro por tipo forestal para los años 2013 y 2023 con el software estadístico Infostat. El cálculo de abundancia y riqueza de especies arbóreas se realizó con el software Excel por tipo forestal para los años 2013 y 2023.

RESULTADOS

Clasificación de Especies Arbóreas

Los resultados de la clasificación jerárquica de especies arbóreas por tipo de exposición se presentan en las Figuras 2 y 3.

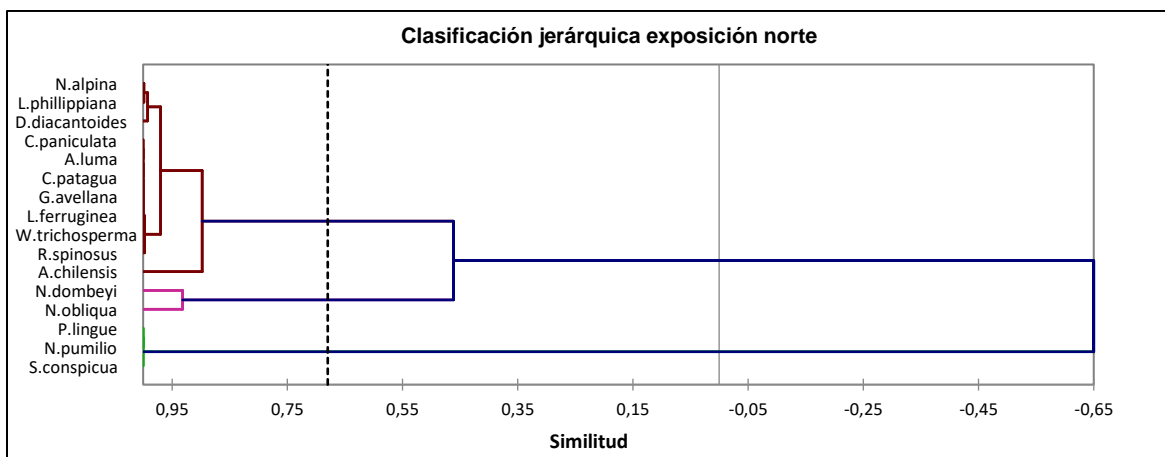


Figura 2: Clasificación jerárquica de especies arbóreas en parcelas con exposición norte.

Para la exposición norte la clasificación detecta 3 grupos de similitud: El grupo 1 con las especies *A. luma*, *A. chilensis*, *C. patagua*, *D. diacantoides*, *G. avellana*, *L. phillippiana*, *L. ferruginea*, *N. alpina*, *R. spinosus*, *W. trichosperma*; el grupo 2 con *N. obliqua* y *N. dombeyi*; y el grupo 3 con *N. pumilio*, *P. lingue* y *S. conspicua*.

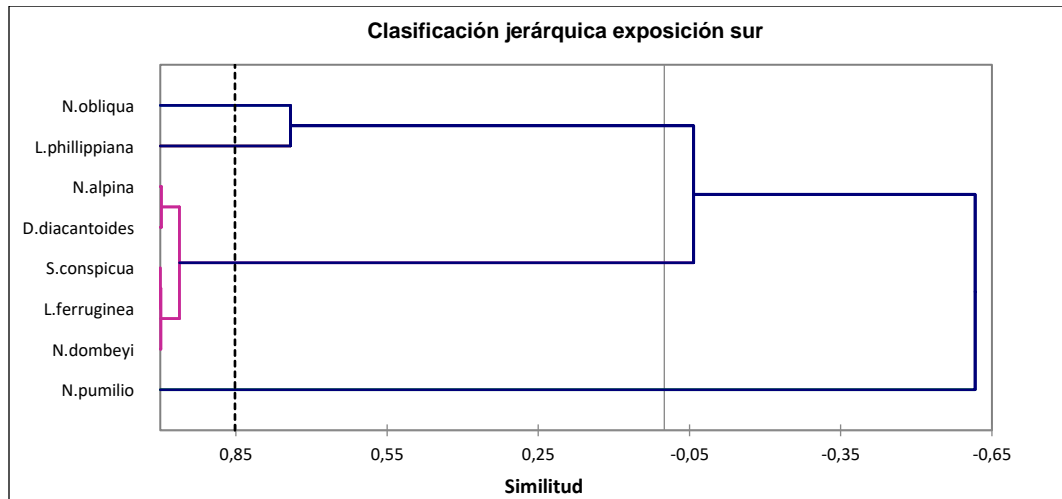


Figura 3: Clasificación jerárquica de especies arbóreas en parcelas con exposición sur

La clasificación jerárquica de las especies arbóreas en las parcelas con exposición sur también muestra la agrupación de especies en 3 clases: con *L. phillippiana* y *N. obliqua* en grupo 1; *D. diacantoides*, *L. ferruginea*, *N. alpina*, *S. conspicua* y *N. dombeyi* en el grupo 2; y *N. pumilio* en el grupo 3.

Vulnerabilidad de Especies Dominantes

Según la metodología aplicada para la definición de la vulnerabilidad, se identificaron las especies dominantes en cada una de las parcelas estudiadas. En Cuadro 3 se muestra el resultado por tipo forestal y exposición.

Cuadro 3: Especies dominantes que en conjunto acumulan el 80% del área basal en las parcelas estudiadas, según tipo forestal y exposición.

Tipo Forestal	Roble-Raulí-Coigüe		Coigüe-Raulí-Tepa		Lenga		Araucaria	
	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur
Especies dominantes	<i>N. dombeyi</i>	<i>N. alpina</i>	<i>N. alpina</i>	<i>N. alpina</i>	<i>N. pumilio</i>	<i>N. pumilio</i>	<i>A. araucana</i>	<i>A. araucana</i>
	<i>N. obliqua</i>	<i>N. obliqua</i>	<i>N. dombeyi</i>	<i>N. dombeyi</i>	<i>N. dombeyi</i>	<i>N. dombeyi</i>	<i>N. dombeyi</i>	<i>N. dombeyi</i>
	<i>D. diacanthoides</i>	<i>L. phillippiana</i>	<i>L. phillippiana</i>	<i>L. phillippiana</i>	<i>S. conspicua</i>		<i>N. pumilio</i>	<i>N. pumilio</i>

Considerando las especies identificadas como dominantes (Cuadro 3), se evaluó la sensibilidad de los tipos forestales según los rasgos funcionales y la distribución de cada una de las especies. El resultado se resume en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Especies dominantes, sus rasgos funcionales y distribución como factores determinantes para la estimación de sensibilidad frente al cambio climático.

Especie	Tipo funcional	Rango altitudinal	Amplitud	Distribución	Sensibilidad
<i>Nothofagus obliqua</i>	adquisitiva	0-800	800	restringida	media
<i>Nothofagus alpina</i>	adquisitiva	200-1200	1000	intermedia	baja
<i>Nothofagus dombeyi</i>	adquisitiva	0-1000	1000	amplia	baja
<i>Nothofagus pumilio</i>	conservativa	600-1800	800	restringida	alta
<i>Dasyphyllum diacantoides</i>	adquisitiva	0-1000	1000	intermedia	baja
<i>Laurelia philippiana</i>	conservativa	0-700	700	intermedia	media
<i>Saxegothaea conspicua</i>	conservativa	500-1200	700	intermedia	media
<i>Araucaria araucana</i>	conservativa	800-2000	1200	restringida	alta

Según esta aproximación, las especies más sensibles al cambio climático serían lenga (*N. pumilio*) y araucaria (*A. araucana*). A esto se suma que en la comuna de Panguipulli ambas especies se encuentran en el límite altitudinal, donde el clima, junto a las condiciones edáficas, ya son una restricción al crecimiento. Esto significa un alto grado de exposición que junto a la alta sensibilidad condicionan en Panguipulli una alta vulnerabilidad de estas dos especies y del tipo forestal Lenga y Araucaria al cambio climático. Menos vulnerable sería el tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa. Aquí raulí (*N. alpina*) y coihue (*N. dombeyi*) fueron categorizados con sensibilidad baja y solo tepa (*L. philippiana*) con una sensibilidad media, debido a su clasificación como especie conservativa. El tipo forestal Roble-Raulí-Coihue está representado en exposición norte solo por especies de sensibilidad baja.

Caracterización Arbórea

En el **Cuadro 5** se muestran los resultados de la caracterización arbórea por tipo forestal para el año 2013 y 2023 en términos de diámetro a la altura del pecho (DAP en centímetros), altura dominante (Hdom en metros), área basal (m²/ha) y número de árboles por hectárea (N/ha). Se muestran los valores promedios (mean), desviación estándar (SD) y valores mínimos (V_{min}) y máximos (V_{max}) por tipo forestal para los años 2013 y 2023 y la diferencia entre ambos periodos.

Cuadro 5: Caracterización arbórea por tipo forestal para el año 2013 y 2023.

Tipo Forestal	Año	DAP (cm)				Hdom (m)				AB (m ² /ha)				N° arb/ha			
		Mean	SD	V_{min}	V_{max}	Mean	SD	V_{min}	V_{max}	Mean	SD	V_{min}	V_{max}	Mean	SD	V_{min}	V_{max}
Araucaria	2013	37,6	27,7	10,0	195,2	28,8	11,6	16,5	56,0	97,7	22,3	80,3	122,9	571	429	244	1056
	2023	40,9	28,4	10,4	195,7	32,1	11,1	18,7	56,0	96,9	25,4	76,9	125,5	498	331	231	869
	Difer	3,3	0,7	0,4	0,5	3,3	-0,5	2,2	0,0	-0,8	3,1	-3,5	2,6	-73	-98	-13	-188
CoRaTe	2013	24,6	12,8	10,0	110,0	22,4	5,5	10,0	42,0	40,6	7,6	28,7	50,5	672	114	544	800
	2023	29,4	14,7	10,7	114,4	26,9	5,8	15,5	46,7	51,6	9,3	38,9	62,7	607	111	500	775
	Difer	4,9	1,8	0,7	4,4	4,5	0,3	5,5	4,7	11,0	1,7	10,2	12,1	-65	-3	-44	-25
Lenga	2013	39,5	26,0	10,1	168,0	23,7	6,2	8,0	35,0	61,6	18,1	46,5	95,1	352	204	194	669
	2023	41,8	25,6	10,6	168,2	24,5	5,7	11,9	35,5	59,5	17,1	49,1	93,5	316	194	175	619
	Difer	2,4	-0,4	0,5	0,2	0,8	-0,4	3,9	0,5	-2,1	-1,0	2,7	-1,6	-36	-10	-19	-50
RoRaCo	2013	31,3	20,8	10,0	220,0	25,5	6,5	4,5	37,0	49,3	14,9	32,1	69,8	448	160	263	681
	2023	34,9	23,9	10,3	243,0	29,1	6,4	16,1	40,1	55,1	20,5	32,0	84,5	393	180	231	663
	Difer	3,7	3,1	0,3	23,0	3,7	-0,1	11,6	3,1	5,8	5,6	-0,1	14,7	-55	20	-31	-19

En todos los tipos forestales los promedios del DAP y de la altura dominante muestran un aumento, mientras que el número de árboles disminuye. El área basal disminuye en los tipos forestales Araucaria y Lenga.

El tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa presenta el mayor aumento de promedio de DAP, altura dominante y área basal, seguido por el tipo forestal Roble-Raulí-Coihue, mientras que el tipo forestal Lenga presenta los valores más bajos para los parámetros mencionados.

El número de árboles disminuyó en promedio para todos los tipos forestales, con una disminución mayor en el tipo forestal Araucaria, seguido por el tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa, Roble-Raulí-Coihue y Lengua sucesivamente.

Comparando la distribución de especies del estrato arbóreo por tipo forestal entre 2013 y 2023, se observa en general una disminución de la abundancia por especie, mientras que la riqueza de especies se mantiene igual para todos los tipos forestales menos Lengua, donde la especie lingue (*P. lingue*) ya no está presente en 2023.

En el **Cuadro 6** se puede observar la distribución de especies del estrato arbóreo del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue en el año 2013 y 2023, respectivamente. La riqueza de especies se mantiene igual con 12 especies diferentes, siendo raulí (*N. alpina*), tepa (*L. phillippiana*) y coihue (*N. dombeyi*) las especies más frecuentes. En términos de abundancia, casi todas las especies muestran menos individuos en 2023, particularmente raulí (*N. alpina*) pasa de ser la especie con más individuos en 2013 a la segunda especie más abundante en 2023 después de tepa (*L. phillippiana*).

Cuadro 6. Distribución de especies del estrato arbóreo del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue en 2013 y 2023.

Especie	N° arb/ha	
	2013	2023
<i>Nothofagus alpina</i>	94	77
<i>Laurelia phillippiana</i>	79	77
<i>Nothofagus dombeyi</i>	66	64
<i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	50	49
<i>Nothofagus obliqua</i>	109	78
<i>Raphithamnus spinosus</i>	15	15
<i>Weinmania trichosperma</i>	10	10
<i>Amomyrtus luma</i>	9	9
<i>Aristotelia chilensis</i>	6	4
<i>Crinodendron patagua</i>	3	3
<i>Gevuina avellana</i>	3	3
<i>Lomatia ferruginea</i>	3	3

En **Cuadro 7** se puede observar la distribución de especies del estrato arbóreo del tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa en los años 2013 y 2023. La riqueza de especies se mantiene igual, con 6 especies diferentes, siendo las más frecuentes raulí (*N. alpina*), coihue (*N. dombeyi*) y tepa (*L. phillippiana*). Todas las especies muestran menos individuos en 2023 que en 2013, excepto fuinque (*L. ferruginea*) que permanece con un individuo.

Cuadro 7. Distribución de especies del estrato arbóreo del tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa en 2013 y 2023.

Especie	N° arb/ha	
	2013	2023
<i>Nothofagus alpina</i>	352	323
<i>Nothofagus dombeyi</i>	208	173
<i>Laurelia phillippiana</i>	76	76
<i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	28	25
<i>Saxegothea conspicua</i>	6	6
<i>Lomatia ferruginea</i>	1	1

En el **Cuadro 8** se puede observar la distribución de especies del estrato arbóreo del tipo forestal Lenga en los años 2013 y 2023. Las especies presentes en este tipo forestal son lenga (*N. pumilio*), coihue (*N. dombeyi*), mañío de hojas cortas (*S. conspicua*) y lingue (*P. lingue*), sin embargo, el único individuo de lingue ya no está presente en el año 2023. En términos de abundancia por especie, se observan 44 y 3 individuos menos que en el año 2013 de lenga y de coihue, respectivamente.

Cuadro 8. Distribución de especies del estrato arbóreo del tipo forestal Lenga en 2013 y 2023.

Especie	N° arb/ha	
	2013	2023
<i>Nothofagus pumilio</i>	266	232
<i>Saxegothaea conspicua</i>	53	53
<i>Nothofagus dombeyi</i>	32	30
<i>Persea lingue</i>	1	0

En el **Cuadro 9** se puede observar la distribución de especies del estrato arbóreo del tipo forestal Araucaria en los años 2013 y 2023. Las tres especies presentes en el estrato arbóreo son coihue (*N. dombeyi*), araucaria (*A. araucana*) y lenga (*N. pumilio*). En términos de abundancia, las tres especies muestran menos individuos en 2023, siendo lenga la especie que más disminuye su abundancia relativa.

Cuadro 9. Distribución de especies del estrato arbóreo del tipo forestal Araucaria en 2013 y 2023.

Especie	N° arb/ha	
	2013	2023
<i>Nothofagus dombeyi</i>	427	363
<i>Araucaria araucana</i>	131	129
<i>Nothofagus pumilio</i>	13	6

DISCUSIÓN

Caracterización de Tipos Forestales

El análisis de clasificación jerárquica de especies arbóreas identificó tres tipos de bosques para la exposición norte y sur, los cuales corresponden en su composición de especies dominantes a los tipos forestales Roble-Raulí-Coihue (grupo 1, 600-800 msnm), Coihue-Raulí-Tepa (grupo 2, 800-1.000 msnm) y Lenga (grupo 3, sobre 1.000 msnm). Hay una disminución notoria de la diversidad de especies arbóreas asociadas a los tipos forestales de rangos altitudinales más elevados, lo que se puede explicar con las variables de temperatura, precipitación y de suelos de los diferentes rangos altitudinales. Dado que las especies dominantes representan los tipos forestales mencionados, se permite un primer análisis de desarrollo de las parcelas por tipo forestal.

Vulnerabilidad de Especies Dominantes

Cuando este estudio se inició en el año 2013, existía muy poca información sobre como las especies podrían reaccionar al cambio climático. A la fecha ya existen algunas publicaciones sobre la influencia de un clima más cálido y seco en el crecimiento de algunas especies. Para roble (*N. obliqua*), por ejemplo, [Urrutia & Rojas \(2020\)](#) encontraron que la precipitación influencia positivamente el crecimiento de roble a lo largo de toda su distribución en la Cordillera de Los Andes. La temperatura máxima por otra parte, tiene un efecto negativo en el crecimiento de los árboles en la mayor parte de los sitios. Sin embargo, se encontró que las sequías ocurridas hasta el año 2010 no han impactado fuertemente el crecimiento de roble en la Cordillera de Los Andes. Analizando en más detalles el comportamiento de roble frente a sequías, [Urrutia](#)

et al. (2021) concluyen que la tolerancia a este fenómeno estaría modulada por las condiciones locales, mostrando las poblaciones septentrionales/secas una tolerancia particularmente alta. Esta plasticidad coincide con la categorización de baja sensibilidad obtenida en este estudio sobre la base de la estrategia adquisitiva de la especie. Otras observaciones para las especies consideradas como vulnerables en este estudio las aportan Gibson-Carpintero *et al.* (2022), quienes proponen que el aumento de la temperatura al final del periodo vegetativo sería el principal factor limitante del crecimiento en el límite altitudinal en la Patagonia central desde mediados de la década de 1980, contrarrestando el esperado aumento del crecimiento arbóreo debido al calentamiento global. Esto se condice también con Rodríguez-Caton *et al.* (2016; 2019), quienes encontraron que los individuos de lenga (*N. pumilio*) en la vertiente oriental de los Andes fueron afectados por los episodios de sequía, especialmente los individuos de más edad. En relación al efecto del cambio climático en araucaria (*A. araucana*) se ha observado una fuerte asociación entre el patrón de crecimiento radial y la humedad superficial del suelo observada por satélite en el período 1979-2000, mostrando una alta sensibilidad de araucaria a este parámetro (Muñoz *et al.*, 2013).

Caracterización Arbórea

Las condiciones de bosque muestran tendencias claras de desarrollo y permiten agruparlos en dos grupos en base a los resultados obtenidos: (1) Los bosques de menor elevación (600-1.000 msnm), representados por el tipo forestal Roble-Raulí-Coihue y Coihue-Raulí-Tepa, que muestran un aumento en el promedio de DAP, altura dominante y área basal y una riqueza de especies arbóreas de 6 a 12 especies; y (2) los bosques de mayor elevación (sobre 1.000 msnm), representados por el tipo forestal Lenga y Araucaria, que revelan un menor aumento de promedio de DAP y altura dominante y una disminución del área basal y número de árboles, además de una reducida riqueza de especies arbóreas.

Los bosques de Roble-Raulí-Coihue y Coihue-Raulí-Tepa muestran promedios de área basal entre 40-55 m²/ha, parámetro comparable con el de rodales sin intervención silvícola, en contraste con rodales productivos con intervención silvícola que según estudios mantienen un área basal entre 15-40 m²/ha (Müller-Using, 2020). Los aumentos sostenidos en DAP, altura dominante y área basal, y la disminución de la densidad durante los últimos 10 años, demuestran que los rodales se encuentran en la fase de crecimiento, no encontrándose indicios de una afectación negativa del mismo. Esto se condice con la estimación inicial de una baja vulnerabilidad al cambio climático de las especies dominantes de estos tipos forestales. Sin embargo, se encontró una disminución en la abundancia de las especies roble (*N. obliqua*) y raulí (*N. alpina*) en los rodales de Roble-Raulí-Coihue y de coihue (*N. dombeyi*) y raulí (*N. alpina*) en Coihue-Raulí-Tepa, lo que podría indicar una extracción de árboles para uso maderero.

Los bosques de Lenga presentan un promedio de DAP de 39-41 cm, parámetro característico para rodales en fase madura (Silva, 2005), lo que sumado a su área basal entre 61-59 m²/ha, sugieren que los rodales se encuentran en la fase de crecimiento óptimo (Martin *et al.*, 2018). Sin embargo, llama la atención el escaso incremento en DAP (2,8 cm) y en altura dominante (0,8 m), además de una disminución del área basal y densidad de los rodales durante los diez años del periodo de estudio. Estas variaciones podrían ser indicios de un efecto negativo del cambio climático sobre el crecimiento de lenga (*N. pumilio*), situación que sería consistente con la estimación inicial de una alta vulnerabilidad de la especie, y con los resultados de otros estudios que relacionan el aumento de temperaturas y el déficit hídrico en el período de vegetación, con el crecimiento de la especie (Gibson-Carpintero *et al.*, 2022; Álvarez *et al.*, 2015; Rodríguez-Caton *et al.*, 2016, 2019).

Los bosques de Araucaria se caracterizan por un aumento del promedio de DAP y altura dominante, lo que sumado a la alta densidad de árboles por hectárea (1.056 en 2013 y 869 en 2023) permite concluir que los rodales se encuentran en la fase inicial de crecimiento óptimo (Drake *et al.*, 2005). El aumento de la densidad relativa de araucaria (*A. araucana*) y la disminución de la participación de las especies coihue (*N. dombeyi*) y lenga (*N. pumilio*) también comprueban que los rodales de Araucaria se encuentran en fase de crecimiento. Por ende, no se encontró indicios de una afectación negativa del crecimiento de araucaria (*A. araucana*), lo que se contradice con la estimación inicial de una alta vulnerabilidad de la especie frente al cambio climático.

CONCLUSIONES

La vulnerabilidad estimada en un inicio del periodo del presente estudio fue baja para los tipos forestales Roble-Raulí-Coihue y Coihue-Raulí-Tepa y alta para los tipos forestales Lengua y Araucaria, que en esta localización forman el límite altitudinal.

En los diez años de observación la distribución de especies arbóreas no demuestra cambios de especies entre los rangos de elevación o tipos forestales a lo largo del transecto altitudinal.

Para poder evaluar el comportamiento específico de las especies frente al cambio climático es necesario, en un segundo paso, realizar un análisis detallado del crecimiento a nivel de las especies dominantes identificadas por el presente estudio. Además, un análisis de la regeneración natural, así como indicadores de biodiversidad de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas pueden entregar antecedentes para una detección temprana de cambios en la estructura y distribución de especies a lo largo del gradiente altitudinal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), mediante el proyecto Climiforad, y el financiamiento permanente del Ministerio de Agricultura de Chile. Agradecemos el apoyo de la Fundación Huilo-Huilo, Forestal Neltume Carranco S.A. y Parque Nacional Villarrica por permitir el monitoreo de las parcelas en el marco del presente estudio.

REFERENCIAS

- Álvarez, C., Veblen, T.T., Christie, D.A., González-Reyes, A. (2015). Relationships between climate variability and radial growth of *Nothofagus pumilio* near altitudinal treeline in the Andes of northern Patagonia, Chile. *Forest Ecology and Management*, N°342. Pp: 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.01.018>
- ARCLIM (Atlas de Riesgos Climáticos para Chile). (2020). Atlas de Riesgos Climáticos para Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Centro de Cambio Global UC y Meteodata para el Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Disponible en: <https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/>
- Bahamóndez, C., Buchner, C., Muller-Using, S., Rojas, Y., Schlegel, B., Vergara, G. (2021). Vulnerabilidad al Cambio Climático del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue de la Región de Los Ríos. Chile. Informe Técnico N° 249. Instituto Forestal, Chile.
- Bahamóndez, C., Buchner, C., Muller-Using, S., Rojas, Y., Schlegel, B., Vergara, G. (2022). Vulnerabilidad al Cambio Climático del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue de la Región del Ñuble. Chile. Informe Técnico N° 257. Instituto Forestal, Chile.
- Bahamóndez, C., Buchner, C., Muller-Using, S., Rojas, Y., Schlegel, B., Vergara, G. (2023). Vulnerabilidad al Cambio Climático del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue de la Región de Los Lagos. Chile. Informe Técnico N° 264. Instituto Forestal, Chile.
- Beinroth, F.H., Luzzo, W., Maldonado, F. & Eswaran, H. (1985). Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador. Part II: Tour guide for Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile.
- CEPF (The Critical Ecosystem Partnership Fund). (2019). A Lifeline for Biodiversity. The Critical Ecosystem Partnership Fund. Arlington, EE.UU. En: <https://www.cepf.net/sites/default/files/cepf-lifeline-for-biodiversity.pdf>
- Chakraborty, A. (2019). Mountains as vulnerable places: a global synthesis of changing mountain systems in the Anthropocene. *Geo Journal*, 86(2): 585–604. <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10079-1>
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). (2014). Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile, Región de Los Ríos. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile.
- Delgado, D., Finegan, B., Martín, M., Acosta, M., Carrillo, F., Hernández, T., Bejarano, L. et al. (2016). Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático de bosques de montaña en Latinoamérica: un punto de partida para su

- gestión adaptativa. Informe técnico N° 406. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Diaz, S., Hodgson, J.G., Thompson, K., Cabido, M., Cornelissen, J.H.C., Jalili, A., Montserrat-Marti, G. et al. (2004).** The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. *Journal of Vegetation Science*, 15, 295-304. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02266.x>
- Drake, A.F., Herrera, M.G. & Acuña, C.E. (2005).** Propuesta de manejo sustentable de *Araucaria araucana* (Mol. C. Koch). *Bosque (Valdivia)*, 26 (1): 23-32. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002005000100003>
- Freeman, B.G., Song, Y., Feeley, K.J. & Zhu, K. (2021).** Montane species track rising temperatures better in the tropics than in the temperate zone. *Ecology Letters*, 24(8): 1697-1708. <https://doi.org/10.1111/ele.13762>
- Gibson-Carpintero, S., Venegas-González, A., Urra, V.D., Estay, S.A. & Gutiérrez, A. (2022).** Recent increase in autumn temperature has stabilized tree growth in forests near the tree lines in Chilean Patagonia. *Ecosphere*, 13 (10), e4266. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4266>
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). (2017).** Censo de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). (2007).** Cambio Climático 2007 – Base de ciencia física. Contribución del grupo de trabajo I al cuarto Informe de Evaluación del IPCC 2007. Londres, Cambridge University Press.
- Körner, C. (2007).** The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecological Evolution*, 22(11): 569–574. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>
- Martin, M., Pilquinao, B., Müller-Using, S., Bahamondez, C., Guíñez, R., Acuña, B., Bava, J. & Loguercio, G. (2018).** Diagramas de Manejo de Densidad para Bosques de Lengua de Aysén y Magallanes con Fines de Producción de Madera. Informe Técnico N° 219. Instituto Forestal, Chile.
- Müller-Using, S. (Ed). 2020.** El Manejo de Renovales de Roble-Raulí-Coihue en una Resumida Mirada: Estadísticas e investigaciones en curso. Informe Técnico. Instituto Forestal, Chile.
- Muñoz, A., Barichivich, J., Christie, D.A., Dorigo, W., Sauchyn, D., González-Reyes, A., Villalba, R. et al. (2013).** Patterns and drivers of *Araucaria araucana* forest growth along a biophysical gradient in the northern Patagonian Andes: Linking tree rings with satellite observations of soil moisture. *Austral Ecology*, 39(2): 1-12. <https://doi.org/10.1111/aec.12054>
- Pepin, N., Bradley, R.S., Diaz, H.F., Baraer, M., Caceres, E.B., Forsythe, N., Fowler, H. et al. (2015).** Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5(5): 424-430. <https://doi.org/10.1038/nclimate2563>
- Rahbek, C., Borregaard, M.K., Colwell, R.K., Dalsgaard, B., Holt, B.G., Morueta-Holme, N., David Nogués-Bravo, D. et al. (2019).** Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? *Science*, 365 (6458), 1108–1113. <https://doi.org/10.1126/science.aax0149>
- Rodríguez-Caton, M., Villalba, R., Srur, A. & Williams, A.P. (2019).** Radial Growth Patterns Associated with Tree Mortality in *Nothofagus pumilio* Forest. *Forests*, 10: 489. <https://doi.org/10.3390/f10060489>
- Rodríguez-Caton, M., Villalba, R., Morales, M. & Srur, A. (2016).** Influence of Droughts on *Nothofagus pumilio* Forest Decline across Northern Patagonia, Argentina. *Ecosphere*, 7, e01390. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1390>
- Sarricolea, P., Herrera-Ossandón, M. & Meseguer-Ruiz, O. (2017).** Climatic regionalization of continental Chile. *Journal of Maps*, 13(2), 66-73. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1259592>
- Silva, C. (2005).** Evolución de las existencias y desarrollo de la regeneración en bosques de lengua (*Nothofagus pumilio*) después de la corta de regeneración. Memoria Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Thakur, S., Negi, V. S., Dhyani, R., Satish, K. V., & Bhatt, I. D. (2021).** Vulnerability assessments of mountain forest ecosystems: A global synthesis. *Trees, Forests and People*, 6, 100156. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100156>
- Urrutia-Jalabert, R., & Rojas Ponce, Y. (2020).** Influencia del clima sobre crecimiento de Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) y resiliencia de la especie frente a las sequías en el centro-sur de Chile. Informe técnico N°232. Instituto Forestal, Chile.
- Urrutia-Jalabert, R., Barichivich, J., Rozas, V., Lara, A., Rojas, Y., Bahamondez, C., Rojas-Badilla, M. et al. (2021).** Climate response and drought resilience of *Nothofagus obliqua* secondary forests across a latitudinal gradient

in south-central Chile. Forest Ecology and Management, 485, 118962.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118962>



APUNTE

Aspectos genéticos, reproductivos y prácticos para el uso ecológico y productivo del arrayán (*Luma apiculata* (DC.) Burret).Braulio Gutiérrez Caro^{1*}¹ Instituto Forestal, sede Biobío. bguetierr@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.613>

Recibido: 02.11.2024; Aceptado 21.11.2024.

RESUMEN

El artículo aporta una síntesis de antecedentes sobre los aspectos genéticos, reproductivos y prácticos de *Luma apiculata* (arrayán), una mirtácea nativa valorada por sus usos ecológicos, ornamentales y melíferos. Se menciona su distribución natural, centrada en Chile y Argentina y su evolución genética en relación con eventos geológicos. Se describe su biología reproductiva y regeneración natural, métodos de dispersión y capacidad de regeneración en distintos ambientes.

Se abordan también las técnicas de propagación, manejo de semillas y viverización, destacando sus semillas recalcitrantes con muy limitada capacidad de almacenamiento, y la incidencia de tratamientos pregerminativos en su propagación. Se resaltan sus aplicaciones, incluyendo su potencial como alimento funcional, su rol en la apicultura y su uso en proyectos de restauración ecológica. Finalmente, se destaca la importancia de la conservación de su diversidad genética y la necesidad de investigaciones adicionales para optimizar su aprovechamiento.

Palabras clave: *Luma apiculata*, germinación, reproducción, semillas, genética

SUMMARY

The article provides a synthesis of background information on the genetic, reproductive, and practical aspects of *Luma apiculata* (arrayán), a native Myrtaceae species valued for its ecological, ornamental, and melliferous uses. It discusses its natural distribution, primarily in Chile and Argentina, and its genetic evolution in relation to geological events. The reproductive biology, natural regeneration, dispersal methods, and the species' capacity to regenerate in diverse environments are described.

Propagation techniques, seed handling, and nursery production are also addressed, emphasizing its recalcitrant seeds with highly limited storage capacity and the influence of pre-germination treatments on propagation. The article highlights its applications, including its potential as a functional food, its role in apiculture, and its use in ecological restoration projects. Finally, the importance of conserving its genetic diversity and the need for further research to optimize its utilization are emphasized.

Key words: *Luma apiculata*, germination, reproduction, seeds, genetics

INTRODUCCIÓN

El arrayán, *Luma apiculata*, es una especie nativa perteneciente a la familia *Myrtaceae*, cuyo género (*Luma* A. Gray) se considera evolutivamente como uno de los más primitivos de esta familia. El género contempla solo dos especies (*L. apiculata* y *L. chequen*) (Retamales, 2021; Caldiz *et al.*, 2004; Teillier, s/f), no obstante, como familia, las mirtáceas nativas incluyen a 26 especies, más una variedad, agrupadas en 10 géneros, la mayoría endémicas y parte importante de los bosques, matorrales y turberas, donde son parte de las dinámicas ecológicas de esos ambientes (Retamales, 2021).

Las mirtáceas nativas se distribuyen desde el centro-norte hasta el sur continental y el archipiélago de Juan Fernández, concentrándose entre los 25 y 47° de latitud sur, en el *hotspot* del bosque chileno, región reconocida por su alto nivel de endemismo y considerada una prioridad para la conservación a escala global (Arroyo *et al.*, 2006 cit. por Retamales, 2021). Si bien se mencionan generalmente como especies higrófilas, abarcan una gran cantidad de ambientes, pudiendo encontrarse casi a lo largo de Chile, excepto en los ecosistemas antárticos y de desierto absoluto (Retamales, 2021).

En efecto, *L. apiculata* es probablemente la mirtácea más dispersa y común en los bosques templados de Sudamérica, extendiéndose en Chile entre las regiones de Valparaíso y Aysén (33°06' a 45°30' Latitud Sur) (Rodríguez *et al.*, 1983; Hoffmann, 1997) y en Argentina en la zona cordillerana de las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut (Caldiz *et al.*, 2004). En Chile se encuentra en la mayoría de los tipos forestales, pero es en el siempreverde donde suele ser una especie habitual. A pesar de su extensa distribución, que sugiere una elevada variación genética, no ocupa una variedad muy diversa de ambientes, encontrándose normalmente asociada a cursos o cuerpos de agua, y existiendo poca información sobre el grado y distribución de la variación genética de sus poblaciones.

Al arrayán se le reconocen propiedades medicinales y usos alimenticios, siendo usada por los pueblos originarios (Cordero *et al.*, 2017, cit. por Contardi *et al.*, 2021); además, se afirma que su sistema radical, puede contribuir a fijar riberas de cursos de agua (Alvarado Ojeda *et al.*, 2013, cit. por Contardi *et al.*, 2021). El arrayán es también una especie melífera (Forcone y Kutschker, 2006) y es en este ámbito, donde junto a otras mirtáceas, se destaca en forma especial. Sobre este particular, un estudio melisopalinológico efectuado en 198 muestras de miel de distintos apicultores de las regiones del Biobío y Ñuble, determinó que *Luma apiculata* es la especie melífera nativa más utilizadas como fuente floral por las abejas en esas regiones, encontrándose en el 46% de las muestras analizadas (González, 2023). *Luma apiculata* posee características que la hacen una excelente fuente floral para apicultura, entre ellas una amplia ventana de floración, que abarca desde octubre a junio del año siguiente, y una floración temprana, que comienza a manifestarse a los dos años en vivero. Además, sus frutos son comestibles, siendo una especie multipropósito que presenta una extensa distribución en la que se espera una alta variabilidad intraespecífica (González, 2023).

Si bien se han realizado experiencias que aportan información sobre el cultivo de arrayán (Donoso *et al.*, 2006), falta profundizar en varios aspectos de calidad de semillas, viverización y establecimiento en terreno. En cuanto a germinación, se registran resultados muy disímiles en distintas experiencias, con fluctuaciones entre germinación nula (Salinas *et al.*, 2023) y valores de 90 a 100% (Contardi *et al.*, 2021; Smith *et al.*, 1998; Ramírez *et al.*, 1980), que advierten de la importancia de considerar no solo las condiciones de los ensayos de germinación, sino también el manejo y manipulación previa de frutos y semillas, el efecto del endocarpo, las condiciones de almacenamiento de las semillas, la época de siembra, los tratamientos pregerminativos y otros detalles relacionados.

En el contexto señalado, el presente documento elabora una síntesis de antecedentes dispersos en diversos medios especializados, para facilitar el acceso a información relativa a aspectos genéticos y reproductivos de *L. apiculata*. Su finalidad es orientar las iniciativas de producción de plantas, tanto para restauración con consideraciones genéticas, como para el establecimiento de huertos melíferos, actividad esta última, donde la especie concita un especial interés.

ASPECTOS EVOLUTIVOS Y GENÉTICOS

El alto número de géneros (10) en proporción al número de especies (26) que representan la familia mirtácea en la flora chilena, es un indicativo de la particular historia evolutiva de esta familia, situación que se relacionaría con el temprano aislamiento que experimentó la flora de Chile durante el Eoceno-Mioceno, hace 10 a 30 millones de años. La concentración de géneros endémicos y monotípicos de mirtáceas pudo haber sido consecuencia de refugios durante las glaciaciones del Pleistoceno, y de los repetidos ciclos de aislamiento debido al avance de los glaciares (Moreira, 2011 cit. por Retamales 2021).

Distintos análisis filogenéticos citados por Retamales (2021), que estudian la evolución de las mirtáceas en Chile, indican que esta familia no formaría un grupo monofilético, sino que constituirían distintas líneas evolutivas. Así, el arrayán (*Luma apiculata*) sería parte de uno de los denominados “géneros atípicos” (*Luma*, *Legrandia*, *Myrceugenia*, *Blepharocalyx* y *Myrcianthes*), los cuales se consideran como experimentos evolutivos, por cuanto poseen características únicas o combinaciones morfológicas distintivas. Estos aparentemente primitivos géneros se distribuyen principalmente en el centro-sur de Chile, con alguna presencia en los Andes argentinos, y su evolución pudo haber sido influenciada por el aislamiento geográfico de esta área durante el Mioceno.

De acuerdo con Caldiz *et al.* (2004) y Caldiz & Premoli (2005), desde el punto de vista genético las poblaciones pequeñas y aisladas de arrayán exhiben niveles de variación genética similares, siendo incluso más heterocigóticas, que las poblaciones puras. Los autores argumentan que las poblaciones pequeñas podrían haberse generado a partir de pocos individuos, pero que experimentarían un considerable flujo génico con otras poblaciones, de modo que contrarrestarían el efecto de deriva genética esperado en poblaciones pequeñas.

En bosques mixtos, la dispersión local de las semillas de arrayán promueve el establecimiento de progenies genéticamente emparentadas, formando grupos familiares en las cercanías del árbol semillero, que genera una marcada estructuración genética en una escala espacial de escasos metros, y que se ve acrecentada por el hecho que la especie puede propagarse vegetativamente por rebrotes de raíz (Caldiz *et al.*, 2004; Caldiz & Premoli, 2005). Esta situación debe tenerse en cuenta al momento de recolectar semillas para la producción y establecimiento de plantas, cuidando de obtener muestras genéticamente representativas, de modo que gran parte sino todos los alelos presentes en la población, estén incluidos en la muestra recolectada (León Lobos *et al.*, 2014).

Lo anterior obedece a que el origen y la diversidad genética del material forestal reproductivo afecta significativamente a la supervivencia, crecimiento y productividad de los árboles, pero también a la capacidad de adaptación y, por lo tanto, a la autosostenibilidad de las poblaciones. En efecto, como lo especifican Thomas *et al.* (2014; 2015), la diversidad genética se relaciona positivamente no solo con el valor adaptativo de las poblaciones de árboles sino también, y de modo más general, con el funcionamiento y la resiliencia del ecosistema; por lo mismo, una adecuada atención a la diversidad genética de las semillas y plantas es particularmente importante para la restauración ecológica de los bosques.

BIOLOGÍA REPRODUCTIVA

Flores, Frutos y Semillas

Las flores del arrayán (**Figura 1**) son hermafroditas, solitarias o en grupos de a tres a cinco, tetrámeras, con cuatro pétalos blancos sub-orbiculares y sépalos triangulares; poseen numerosos estambres que rodean a un pistilo largo, ligeramente rojizo y un ovario con dos lóculos. Florece profusamente en un extenso periodo que se extiende entre diciembre y mayo (Caldiz *et al.*, 2004) e incluso entre octubre y junio (González, 2023). Su sistema reproductivo consiste en polinización entomófila, donde participan diversas especies de insectos, entre ellas el abejorro nativo chileno (*Bombus dahlbomii*) (Retamales, 2021), y no se descarta algún grado de polinización anemófila (Caldiz *et al.*, 2004).

El fruto (**Figura 1**) es una baya globosa de aproximadamente 1,3 a 1,5 cm de diámetro, de color rojizo que se torna negra violácea al madurar (Alvarado & Levet, 2014). Se presenta mayoritariamente entre marzo y abril, aunque en bosques siempreverdes la fructificación puede extenderse hasta pleno invierno (junio-julio) (Caldiz, 2004). En su interior contiene entre una y más de 10 semillas, siendo frecuente que existan 2 o 3.

Las semillas (**Figura 1**) son de forma arriñonada, lenticular, lisas, brillantes, de 4,5 a 5 mm de largo, poseen latencia fisiológica, germinación epigea y existen del orden de 54.000 a 60.000 unidades por kilogramo de semilla limpia (Alvarado & Levet, 2014; Donoso, 1989). Poseen un embrión grande con una delgada testa seminal y carecen de endoesperma (Ramírez *et al.*, 1980). Su principal característica, desde el punto de vista de la viverización, es que son semillas del tipo recalcitrante, o no ortodoxas, es decir que pierden

rápida su viabilidad (semillas microbióticas) y no pueden ser almacenadas para su uso en temporadas posteriores a la de colecta. Por otra parte, al ser semillas con latencia, requieren la aplicación de tratamientos pregerminativos para acelerar y homogenizar su germinación en vivero, aun cuando este tratamiento no aumentará el porcentaje final de germinación en relación a las semillas no tratadas; estas últimas alcanzan porcentajes de germinación similares a las primeras, pero tardan más tiempo en lograrlo (Figuroa *et al.*, 1996; Figuroa, 2000).



Figura 1. Flores, frutos y semillas de *Luma apiculata*.

La dispersión de frutos y semillas de arrayán ocurre por gravedad (barocoría) o por animales (endozocoría) (Caldiz *et al.*, 2004). Según Mora *et al.* (2013), gracias a la capacidad de flotación de los frutos, la dispersión también puede producirse por el agua (hidrocoría), lo que incrementa la posibilidad de que las semillas lleguen a microhábitats adecuados en los bosques inundados o ecosistemas pantanosos.

Respecto a la dispersión por animales, participan fundamentalmente aves, entre ellas varias especies icónicas de los ecosistemas chilenos, como choroyes y cachañas (Retamales, 2021), en tanto que los pequeños mamíferos y reptiles juegan solo un pequeño papel en la dispersión de estos frutos (Figuroa & Castro, 2002). Las aves frugívoras no solo dispersan las semillas de *Luma apiculata*, sino que también ayudan a eliminar la pulpa del fruto, no afectan negativamente su viabilidad y además facilitan su germinación al eliminar la pulpa inhibitoria. En ensayos de laboratorio evaluados por Figuroa & Castro (2002), las semillas de *Luma apiculata* ingeridas por aves mostraron un porcentaje de germinación significativamente mayor (32%) en comparación con las semillas extraídas manualmente de los frutos (23%). Sin embargo, Ramírez (1980) postula que esta forma de dispersión endozoica no sería muy eficiente, pues la permanencia de las semillas en el tracto digestivo debe ser corta para no perder su viabilidad. Además, las observaciones en terreno indicarían que la germinación se produce preferentemente cerca de la planta madre, formando las agrupaciones familiares y la estructuración

genética mencionada previamente en el punto de aspectos evolutivos y genéticos, sugiriendo así una preponderancia de la dispersión por gravedad.

En cuanto a hidrocoría, el pericarpio carnoso de *Luma apiculata* actúa como una barrera que inhibe la rápida absorción de agua, le otorga flotabilidad y retrasa la germinación, lo cual puede proteger a las semillas de los efectos negativos de la inmersión prolongada en el agua. En condiciones de inundación de hasta 45 días, las semillas con pericarpio mostraron un porcentaje de germinación superior en comparación con las semillas sin pericarpio, lo que sugiere que el pericarpio actúa como un “salvavidas” que protege a las semillas bajo esas condiciones (Mora *et al.*, 2013; Mora & Smith-Ramírez, 2017).

Regeneración Natural

La reproducción de las especies del bosque depende, entre otros factores, del potencial de germinación de las semillas. De acuerdo con Figueroa (2000) *Luma apiculata*, y varias otras especies de los bosques templados de Chile, no presentan la estrategia de germinación típica de los bosques templados del hemisferio norte, donde predomina la germinación retardada por una latencia innata que sería interrumpida por las bajas temperaturas del invierno. Por el contrario, la germinación de arrayán se asemeja a la de muchas especies pioneras de los bosques tropicales, donde existe escasa estacionalidad, y presentan una germinación inmediata post maduración del fruto, sin latencia innata, pero inhibida por la exposición de las semillas a longitudes de onda ricas en rojo lejano, calidad lumínica característica del sotobosque, bajo el dosel o la hojarasca del suelo. Este tipo de latencia, inducida por la calidad de la luz (latencia fotoblástica), sin ser un mecanismo generalizado, también se ha detectado en algunas especies del bosque templado del sur de Chile, entre ellas, en *Luma apiculata*, *Fuchsia magellanica*, *Gaultheria mucronata*, *Embothrium coccineum*, *Rhaphithamnus spinosus* (Figueroa *et al.*, 1996; 2004).

Arrayán ha sido clasificada como una especie relativamente tolerante a la sombra y también como intolerante que solo regenera ante una apertura en el dosel. Es una especie del borde de bosque que suele encontrarse en las zonas externas del mismo, en ambientes con mayor exposición a la luz y vegetación menos densa que al interior del bosque. Su hábitat típico incluye áreas con perturbaciones naturales, como claros generados por la caída de árboles (Figueroa & Hernández, 2001).

La regeneración de *L. apiculata* ocurre principalmente en bosques en la fase de apertura de claros, no obstante, las semillas de arrayán pueden germinar en la sombra, bajo el dosel de dominantes intolerantes como *Nothofagus dombeyi*, para posteriormente ir pasando al dosel superior al desmoronarse las dominantes (Caldiz *et al.*, 2004; Retamales, 2021). En efecto, las semillas de *Luma apiculata* poseen un buen potencial de germinación, pudiendo germinar tanto en condiciones de luz (en claros) como en sombra (bajo el dosel), sin que existan diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de germinación de ambas condiciones (Figueroa & Hernández, 2001). Esta capacidad para germinar en ambas condiciones permite que arrayán pueda establecerse en condiciones de luz y sombra, lo que sugiere una adaptabilidad y competencia dentro del bosque templado. A pesar de esta adaptabilidad en germinación, su presencia en el interior del bosque es limitada, probablemente debido a su menor capacidad para competir en ambientes de sombra más densa al interior del bosque lo largo de su vida (Figueroa & Hernández, 2021). Por lo mismo, los bosques con arrayán en el dosel superior son bosques antiguos, debido a que originalmente estaban dominados por especies intolerantes que cumplieron su ciclo (Caldiz *et al.*, 2004). Tal es el caso de los bosques milenarios de arrayán en la isla Helvecia o Chaullín (Calbuco, región de Los Lagos) donde se encuentran arrayanes que superan los 20 metros de altura y cientos de años de edad (Retamales, 2021).

SEMILLAS Y PROPAGACION ARTIFICIAL

Cosecha y Manejo de Semillas

Para recolectar semillas se deben extraer desde los árboles los frutos maduros, los que se reconocen por su marcado color morado oscuro a negro (marzo a julio dependiendo de la localidad). La colecta se realiza directamente desde la copa, pizcando los frutos en forma manual, o agitando las ramas para promover la caída de los frutos sobre mallas, lonas o similares dispuestas bajo la copa. El procedimiento de colecta

más adecuado será aquel que permita obtener la mayor cantidad de semillas/frutos maduros y de calidad, con la mayor eficiencia, el menor riesgo y el menor impacto sobre el recurso recolectado.

Durante la recolección se debe tener en cuenta consideraciones de distinto tipo. Las principales son:

- La extracción de semillas no debe superar el 20% de las semillas viables disponibles en la población en el momento de la recolección, de esta forma quedan suficientes semillas para la regeneración de la población y así no alterar su dinámica natural, ni comprometer la situación de otros organismos que hacen uso de esa semilla con distintos fines (León Lobos *et al.*, 2014; Bacchetta *et al.*, 2008). Recolectar sólo en árboles con buen estado sanitario y de aspecto vigoroso.
- La colecta debe tener en cuenta consideraciones de carácter genético, fundamentalmente relacionadas con el uso de fuentes semilleras cuyo origen garantice adaptación al sitio de plantación y que tenga suficiente diversidad genética para seguir respondiendo a las condiciones cambiantes que enfrentará el material genético cuando sea establecido en terreno (Thomas *et al.*, 2014). Particularmente los árboles a colectar deben estar suficientemente separados entre sí, con esto se reduce el riesgo de recolectar semillas de árboles emparentados, lo que reduciría la diversidad genética del lote de plantas producidas. Detalles sobre estas consideraciones genéticas para colecta de semillas y viverización pueden consultarse en Gutiérrez (2021; 2024).
- Se debe recolectar cuando los frutos estén maduros, este es un aspecto crucial que define el momento de cosecha y la utilidad del material obtenido. Es durante la maduración cuando las semillas adquieren la capacidad de germinar, y sus embriones ya desarrollados pueden activarse para dar origen a una nueva planta.
- Otro aspecto elemental es recolectar semillas sanas, sin indicios evidentes de daño que comprometan su viabilidad y capacidad para germinar y generar un individuo nuevo competente. Por lo mismo, especial atención debe ponerse al estado sanitario, de modo de colectar frutos sanos con semillas viables y descartar aquellas que no serán de utilidad en los procesos posteriores de viverización.
- Por último, la cantidad de semillas a recolectar debe ser suficiente para cumplir con los objetivos de siembra, y también para efectuar los análisis de caracterización del lote colectado. Debe colectarse en función de lo que efectivamente se sembrará durante la temporada, por cuanto la semilla de arrayán por su condición de no ortodoxa, no puede ser almacenada para uso en temporadas posteriores (semilla recalcitrante).

Los frutos colectados deben ser transportados o despachados a las dependencias donde se les practicará el procesamiento post colecta y la extracción de las semillas. Lo fundamental de esta fase es reducir el tiempo desde la recolección hasta el procesamiento, evitando la exposición a alta temperatura, sol directo o humedad, de modo de prevenir el biodeterioro de los frutos y semillas recolectados.

Una vez obtenido los frutos, las semillas del arrayán se extraen por maceración, presionando las bayas maduras y lavándolas en agua corriente para eliminar la pulpa y los desechos restantes. Para este efecto los frutos pueden ser macerados completamente en forma manual o en recipientes con agua. En ambos casos el resultado será una mezcla de pulpa con semillas que puede ser separada utilizando mallas, tamices, o coladores de cocina. La pulpa puede ser fácilmente separada de las semillas, debido a que normalmente flota y puede ser eliminada junto con el agua, mientras que las semillas se van al fondo. Este lavado puede repetirse hasta que la mayor parte de la pulpa haya sido descartada.

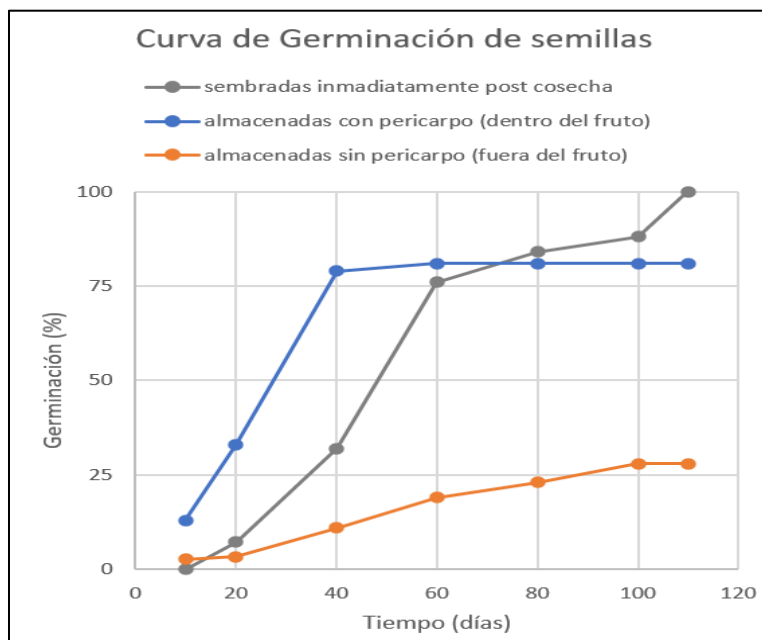
Una vez que las semillas están separadas de sus frutos y limpias se secan superficialmente y se procede a analizarlas y almacenarlas. El almacenamiento de las semillas de arrayán es de corto plazo, se deben sembrar prontamente después de la cosecha, porque pierden la viabilidad y capacidad germinativa en forma acelerada (Ramírez *et al.*, 1980; Alvarado & Levet, 2004). En cuanto a su análisis es recomendable determinar los parámetros físicos y biológicos tradicionales para caracterizar lotes de semillas, como

Pureza, Número de semillas por kilogramo, Viabilidad y Germinación. Estos antecedentes serán de utilidad para dimensionar las faenas posteriores de siembra y producción de plantas.

Germinación y Tratamientos Pregerminativos

Contardi *et al.* (2021) evaluaron la germinación de semillas de arrayán sembradas en otoño, sin estratificar y en primavera tras una estratificación fría-húmeda por 90 días. La mayor germinación se obtuvo en la siembra de otoño (90-79%); la siembra en primavera con estratificación de semillas presentó una germinación intermedia (47-64%); en tanto, la menor germinación se obtuvo con la siembra de primavera de semillas estratificadas dentro del fruto (31-38%).

Los elevados porcentajes de germinación logrados, particularmente con la siembra de otoño, estarían corroborando una alta viabilidad inicial de las semillas de arrayán, situación que concuerda con los resultados de Ramírez *et al.* (1980) quienes obtuvieron un poder germinativo del 100% en siembra de semillas recién cosechadas, en tanto que para semillas almacenadas por tan solo 8 días la germinación se redujo en forma considerable, particularmente para aquella guardadas sin pericarpio, fuera del fruto (Figura 2).



(Fuente: Reconstruido a partir de datos de Ramírez *et al.*, 1980).

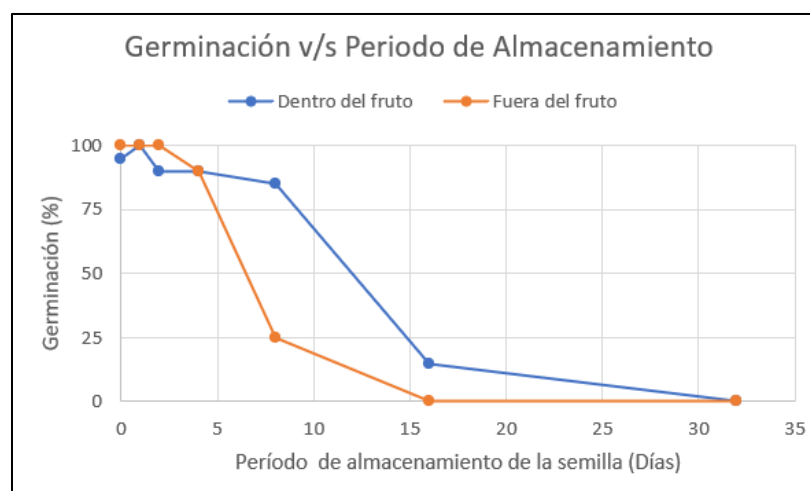
Figura 2. Curvas de germinación de semillas de arrayán sembradas inmediatamente post cosecha y de otras almacenadas por 8 días dentro y fuera del fruto.

La alta viabilidad inicial de las semillas de arrayán disminuye con el tiempo, como lo indican los resultados de los tratamientos de siembra de primavera de Contardi *et al.* (2021) y los ensayos de tiempo de almacenamiento de Ramírez *et al.* (1980). En efecto, las semillas de arrayán disminuyen su viabilidad durante el almacenamiento, tanto si son extraídas del fruto como si permanecen dentro del mismo. Esto confirmaría el comportamiento recalcitrante que se menciona para semillas de esta especie y otras mirtáceas chilenas, como *Amomyrtus luma*, *Myrceugenia planipes* y *Ugni molinae* (Figueroa *et al.*, 1996; 2000). Esta pérdida de viabilidad podría estar asociada con las características morfológicas de las semillas, tales como una cubierta seminal delgada, membranosa y de aspecto húmedo, así como embriones muy desarrollados (Ramírez *et al.*, 1980).

Figuroa *et al.* (1996) y Figuroa (2000) comparan la germinación de semillas de distintas especies, entre ellas de arrayán, sembradas inmediatamente después de la cosecha (aprox. una semana) con las de semillas del mismo lote, pero sometidas a una estratificación fría de 40 días a 5°C. Observan que la germinación de arrayán se ve acelerada por la estratificación fría, respecto a la de semillas testigos sin estratificar. La diferencia se observa hasta los 30 días cuando la semilla estratificada alcanza 74% y la sin estratificar solo 31%. Sin embargo, hacia los 90 días los valores de ambos lotes tienden a igualarse alrededor de 80% de germinación. Los resultados de estos estudios permiten clasificar al arrayán como una especie de respuesta germinativa inmediata (la germinación comenzó antes de 4 semanas); patrón de germinación asincrónico (más del 10% de las semillas germinan en distintos meses); y potencial germinativo alto (Porcentaje de germinación al final del ensayo superior a 50%). Análogamente Smith *et al.* (1998) señalan que la germinación de arrayán en laboratorio es alta (93%) pero lenta, con un periodo de latencia de hasta 157 días.

En los ensayos de laboratorio evaluados por Figuroa y Castro (2002), las semillas dentro de los frutos intactos no germinaron y se descompusieron rápidamente, lo que sugiere que la pulpa del fruto puede inhibir la germinación. En efecto, los frutos normalmente presentan sustancias inhibitoras que impiden la germinación de las semillas, como mecanismo de protección hasta que existan condiciones adecuadas para germinar o para permitirles transportarse a grandes distancias. Así, en condiciones naturales, donde los entornos acuáticos son perjudiciales para la integridad de las semillas, el pericarpo del fruto del arrayán juega un importante rol protector de las mismas ante la inmersión prolongada, permitiendo su dispersión por agua sin afectar su posterior germinación (Mora & Smith-Ramírez, 2017).

Por otra parte, semillas recalcitrantes como las del arrayán pueden encontrar dentro del fruto la humedad necesaria para mantener su viabilidad por más tiempo que si estuvieran fuera del mismo, tal como lo concluyó Ramírez *et al.* (1980) al comparar la germinación de semillas de arrayán sembradas después de periodos de almacenamiento que fluctuaron entre 0 y 32 días. En estos ensayos la máxima germinación se produjo con semillas almacenadas por 4 días o menos y se redujo considerablemente al aumentar el periodo de almacenamiento, aunque manteniéndose más alto en aquellas que habían sido almacenadas dentro del fruto (Figura 3). Así, si bien la siembra de semillas dentro del fruto es detrimental para su germinación, el almacenamiento de corto plazo de las semillas dentro del fruto es una alternativa de interés respecto al almacenamiento de semilla limpia.



(Fuente: Reconstruido a partir de datos de Ramírez *et al.*, 1980)

Figura 3. Germinación de semillas de *Luma apiculata* después de distintos periodos de almacenamiento dentro y fuera del fruto.

Viverización y Producción de Plantas

La semilla sin estratificar puede ser sembrada en el otoño inmediatamente después de la colecta. Alternativamente, puede sembrarse a inicios de primavera, tras algunas semanas de estratificación fría húmeda como tratamiento pregerminativo, o de un remojo en solución de giberelina por 24 a 48 horas, como tratamiento alternativo a la estratificación. De acuerdo con Quiroz *et al.* (2009) la siembra puede realizarse en dos modalidades, directa al contenedor o en almácigo, esta última es recomendable cuando la germinación es menor a un 40%, lo que ocurre comúnmente con semillas de muy pequeño tamaño y con calidad deficiente. También, se utilizan las almacigueras cuando la germinación de algunas semillas es irregular.

Respecto a la siembra de otoño, Alvarado & Levet (2014) indican que se puede efectuar en almácigos, disponiendo las semillas en cajones con tierra de hoja desinfectada y mantenidos a una temperatura de 4 a 8 °C; posteriormente, en el mes de septiembre, se sacan los cajones del frío y se ubican bajo semisombra con una temperatura de 18 a 22°C para provocar la germinación, la que se inicia después de 35 a 40 días. En este caso las semillas experimentan una estratificación fría natural durante el invierno.

Entre 12 y 15 días después de la germinación se observa la aparición de cotiledones, y luego de 10 días más la aparición de las primeras hojas verdaderas (Donoso *et al.*, 2006 cit. por Alvarado & Levet, 2014). Cuando las plantas alcanzan 10 a 15 cm de altura pueden repicarse a los contenedores individuales de viverización, en los cuales normalmente se utiliza corteza compostada de pino como sustrato para la producción de las plantas.

Una vez repicadas, las plantas deben continuar bajo semisombra por algunos meses, utilizándose para este efecto malla raschell con porcentaje de sombra de 50%. Los riegos se efectúan a requerimiento y como fertilización Alvarado & Levet (2014) mencionan el uso de N, P, K, Mg y microelementos, en un preparado comercial granulado de liberación controlada el cual se adiciona en forma previa al sustrato de viverización, a razón de 3 Kg/m³.

CONCLUSIONES

Luma apiculata es una mirtácea nativa cuyo valor melífero, junto con el potencial de sus frutos como alimento funcional rico en antioxidantes, la posicionan como un recurso multipropósito de interés económico y ecológico. Posee una importante capacidad de germinación bajo diferentes condiciones de luz, que favorecen su regeneración natural y su utilidad en proyectos de restauración. Para estos efectos, la diversidad genética en poblaciones naturales es clave para la resiliencia y sostenibilidad de los ecosistemas a restaurar, por lo que se requiere estrategias de recolección y viverización de semillas que conserven esta diversidad.

Sus semillas son recalcitrantes y requieren manejo especializado, tienen una alta viabilidad y germinación inicial que decae aceleradamente con el tiempo. Su germinación es lenta debido a una marcada latencia, siendo recomendable el uso de tratamientos pregerminativos para acelerarla y homogenizarla. Para asegurar su viabilidad y germinación, las semillas no pueden almacenarse para uso en temporadas posteriores la de la colecta, debiendo sembrarse en el más breve plazo después de su recolección.

Es necesario profundizar en estudios sobre genética poblacional, propagación artificial y manejo productivo para maximizar su potencial en restauración y aplicaciones productivas derivadas de sus frutos y valor melífero.

REFERENCIAS

Alvarado, A. & Levet, O. (2014). Manual de protocolos de producción de especies utilizadas por el programa de arborización. 1a. edición. CONAF. Santiago. 177 p.

- Bacchetta, G., Bueno-Sánchez, A., Fenu, G., Jiménez-Alfaro, B., Mattana, E., Piotta, B. & Virevaire, M. (Eds). (2008). Conservación *ex situ* de plantas silvestres. Principado de Asturias / La Caixa. 378 p.
- Caldiz, M., Premoli, A. & Kitzberger, T. (2004). Variación en *Luma apiculata* (DC.) Burret (*Myrtaceae*) (Arrayán, Quetri o Palo Colorado). En: Donoso, C., Premoli, A., Gallo, L. & Ipinza, R. (Eds). Variación Intraespecífica en especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. Santiago. Cap. 17. Pp: 381-389.
- Caldiz, L. & Premoli, A. (2005). Isozyme diversity in large and isolated populations of *Luma apiculata* (*Myrtaceae*) in north-western Patagonia, Argentina. *Australian Journal of Botany*, N° 53. Pp: 781-787. <https://doi.org/10.1071/BT05037>
- Contardi, L., Paz, M. & Urretavizcaya, M. (2021). Arrayán, aspectos importantes de los frutos y semillas para su conservación. En: <https://ciefap.gob.ar/index.php/secciones/ciencia-y-tecnologia/55-arrayan-aspectos-relevantes-de-los-frutos-y-semillas-para-su-domesticacion.html>
- Donoso, C. (1989). Antecedentes básicos para la silvicultura del tipo forestal siempreverde. *Bosque*, 10(1): 37-53. <https://doi.org/10.4206/bosque.1989.v10n1n2-05>
- Donoso, C., Caldiz, M., Kitzberger, T., Premoli, A. & Utreras, F. (2006). *Luma apiculata* (D.C.) Burret. Arrayán. En: Donoso, C. (Ed.). Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Ed. Marisa Cuneo. Valdivia, Chile. Pp: 354-364.
- Figuroa, J., León, P., Cavieres, L., Pritchard, H. & Way, M. (2004). Ecofisiología de semillas en ambientes contrastantes de Chile: Un gradiente desde ecosistemas desérticos a templados-húmedos. En: Marino, H. (Ed). Fisiología ecológica en plantas mecanismos y respuestas a estrés en los ecosistemas. Valparaíso, Chile. Pp: 81-98.
- Figuroa, J. & Castro, S. (2002). Effects of bird ingestion on seed germination of four woody species of the temperate rainforest of Chiloé island, Chile. *Plant Ecology*, N° 160. Pp: 17–23. <https://doi.org/10.1023/A:1015889017812>
- Figuroa, J. & Hernández, J. (2001). Seed germination responses in a temperate rain forest of Chiloé, Chile: effects of a gap and the tree canopy. *Ecología Austral*, N° 11. Pp:39-47.
- Figuroa, J. (2000). Aspectos ecológicos de la germinación en especies del bosque templado-húmedo del sur de Chile. <https://www.chlorischile.cl/semillas/semillas.htm>
- Figuroa, J., Armesto, J. & Hernández, J. (1996). Estrategias de germinación y latencia de semillas en especies del bosque templado de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, N° 69. Pp: 243-251.
- Forcone, A. & Kutschker, A. (2006). Floración de las especies de interés apícola en el noroeste de Chubut, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 8(2): 151-157. <https://doi.org/10.22179/REVMACN.8.314>
- González, J. (2023). Semillas para el futuro: Fuentes semilleras con consideraciones genéticas y ecológicas de una mirtácea de alto valor melífero: *Luma apiculata* (DC.) Burret. Documento de formulación de Proyecto presentado al XIV concurso del Fondo de Investigación del Bosque Nativo de CONAF. Instituto Forestal. Concepción. 31 p.
- Gutiérrez, B. (2024). ¿Es la semilla de origen local el mejor material genético para efectos de restauración? *Ciencia & Investigación Forestal*, 29(3): 85–94. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.598>
- Gutiérrez, B. (2021). Consideraciones genéticas para la obtención de semillas y viverización de plantas para restauración. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B., Molina, M. & Barros, S. (Eds). Buenas prácticas y consideraciones genéticas para recuperación de bosques nativos degradados. ISBN N° 9787-956-318-204-0. Instituto Forestal-Fondo Investigación del Bosque Nativo. Cap 9. Pp: <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31302>
- Hoffmann, A. (1997). Flora Silvestre de Chile, Zona Araucana: una guía ilustrada para la identificación de las especies de plantas leñosas del sur de Chile. Ediciones Fundación Claudio Gay. Santiago. 257 p.
- León-Lobos, P., Sandoval, A., Bolados, G., Rosas, M., Stark, D. & Gold, K. (2014). Manual de recolección y procesamiento de semillas de especies forestales. Boletín INIA N° 280. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. 96 p.

- Mora, JP. & Smith-Ramírez, C. (2017).** Fleshy fruits as a lifebelt for seeds and the potential polychory of two wetland trees of temperate Chilean forests. *Aquatic Botany*, N° 142. Pp: 87–90. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.07.002>
- Mora, JP., Smith-Ramírez, C. & Zúñiga-Feest, A. (2013).** The role of fleshy pericarp in seed germination and dispersal under flooded conditions in three wetland forest species. *Acta Oecologica*, N° 46. Pp: 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.10.010>
- Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P. & Soto, H. (2009).** Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Centro tecnológico de la Planta Forestal. INFOR. Concepción, Chile. 128 p.
- Ramírez, C., Romero, M. & Henríquez, O. (1980).** Estudios de germinación en semillas de mirtáceas chilenas. *Bosque*, 3(2): 106–114. <https://doi.org/10.4206/bosque.1980.v3n2-06>
- Retamales, H. (2021).** Mirtáceas en la flora silvestre de Chile. Historia natural y situación actual. Ed. Bosque Chileno. Santiago. 225 p.
- Rodríguez, R., Matthei, O. & Quezada, M. (1983).** Flora Arbórea de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 408 p.
- Salinas, J., Moya, I. & Uribe, A. (2023).** Investigación silvícola y tecnológica de berries nativos de interés comercial en Patagonia: Prácticas de propagación y manejo. *Ciencia & Investigación Forestal*, 29(2): 87–97. <https://doi.org/10.52904/0718-4046.2023.592>.
- Smith, C., Armesto, J. & Figueroa, J. (1998).** Flowering, fruiting and seed germination in Chilean rain forest *Myrtaceae*: ecological and phylogenetic constraints. *Plant Ecology*, N° 136. Pp: 119–131. <https://doi.org/10.1023/A:1009730810655>
- Teillier, S. (s/f).** Curso de Botánica Sistemática. En: <https://www.chlorischile.cl/cursoonline/guia14/ros3.htm#luma>
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L.; Cavers, S.; Bordács, S. et al. (2014).** Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management* 333 (2014): 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J. & Bozzano, M. (2015).** Cómo evitar el fracaso en la restauración forestal: la importancia de disponer de un germoplasma genéticamente diverso y adaptado a los sitios de plantación. *Unasyva* 245, vol. 66 2015-3. Pp: 29–36.



APUNTE

Especies melíferas en la restauración del paisaje forestal.

Jorge González-Campos¹; María Molina Brand¹; Hernán Soto Guevara¹; Braulio Gutiérrez Caro¹; Roberto Ipinza Carmona²; Tamara Vera Castro¹ & Laura Koch Zúñiga¹.

¹ Instituto Forestal, sede Biobío, Concepción. jgonzalez@infor.cl

² Instituto Forestal, sede Los Ríos, Valdivia.

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.614>

Recibido: 04.11.2024; Aceptado 19.11.2024

RESUMEN

En Chile, la desertificación afecta al 60% del territorio, amenazando tanto la biodiversidad como la población rural. Ante la pérdida de bosques y degradación de ecosistemas globales, el documento aborda la importancia de la reforestación con especies forestales melíferas en la restauración del paisaje forestal, destacando su potencial para conservar la biodiversidad y mejorar la productividad apícola, ofreciendo así beneficios ecológicos y económicos.

Iniciativas locales, como el establecimiento de huertos melíferos en las regiones de Coquimbo y Biobío, han buscado fomentar la producción apícola y contribuir a la restauración del paisaje mediante la plantación de especies forestales con propiedades melíferas. Respecto a tal restauración, se enfatiza la necesidad de asegurar la diversidad genética esencial para la adaptación al cambio climático, reconociéndose como un cuello de botella a la limitada disponibilidad de semillas con calidad genética adecuada. Se propone una gestión integral del suministro del material genético y se sugiere que la genómica del paisaje podría optimizar la selección de especies y mejorar los resultados de conservación.

Se concluye que integrar especies melíferas en programas de restauración es clave para proteger los ecosistemas y potenciar la apicultura sostenible en Chile.

Palabras clave: Restauración del paisaje, Especies melíferas.

SUMMARY

Desertification affects 60% of the Chilean territory, threatening both biodiversity and rural populations. Faced with global forest loss and ecosystem degradation, the document highlights the importance of reforestation with honey forest species in landscape restoration, emphasizing their potential to conserve biodiversity and enhance beekeeping productivity, thereby offering both ecological and economic benefits.

Local initiatives, such as the establishment of honey orchards in the Coquimbo and Biobío regions, have sought to promote apiculture and contribute to landscape restoration through the planting of forest species with honey-producing properties. Regarding such restoration, the need to ensure genetic diversity essential for climate change adaptation is emphasized, identifying the limited availability of seeds with adequate genetic quality as a bottleneck. An integrated management approach for the supply of genetic material is proposed, and it is suggested that "landscape genomics" could optimize species selection and improve conservation outcomes.

It is concluded that integrating honey-producing species into restoration programs is key to protecting ecosystems and fostering sustainable beekeeping in Chile.

Key words: Landscape restoration, honey forest species.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas tres décadas (1990-2020) se ha observado una pérdida neta de alrededor de 178 millones de hectáreas de bosques a nivel global, lo que provoca una disminución significativa en la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos, constituyendo una amenaza tanto para los ecosistemas, como para las personas que dependen de ellos (Betts *et al.*, 2018; FAO, 2020). Esta grave situación motivó que la Organización de las Naciones Unidas declarara al decenio 2021-2030 como el decenio para la Restauración, con el fin de apoyar y ampliar los esfuerzos encaminados a prevenir, detener e invertir la degradación de los ecosistemas en todo el mundo y concienciar sobre la importancia del éxito de la restauración de los ecosistemas" (ONU, 2019).

En la actualidad la tendencia es hacia la restauración del paisaje, entendida como el proceso de recuperar la funcionalidad ecológica y mejorar el bienestar humano en paisajes completamente deforestados o degradados (Chazdon *et al.*, 2020). En ella se combinan esquemas de reforestación productiva y protectora para aumentar la cobertura arbórea en paisajes heterogéneos y multipropósito (Chazdon & Brancalion 2019; Chazdon *et al.*, 2020). Se trata de un proceso activo, que considera como esencial la participación de las comunidades locales para la restauración efectiva del paisaje forestal (IUCN, 2017; Chazdon *et al.*, 2020).

Un iniciativa efectiva y replicable para avanzar en la restauración del paisaje, es la plantación de especies arbóreas melíferas, las cuales representan una herramienta eficaz para la conservación de la biodiversidad y la mejora de la productividad de los apicultores que aprovechan estas especies como fuente de néctar para la producción de miel utilizando la especie *Apis mellifera* (Al-Ghamdi *et al.*, 2020, APIMONDIA, sf). En este contexto, el presente documento tiene por objetivo entregar antecedentes respecto al uso de especies forestales melíferas como material para la restauración del paisaje rural de Chile y sugerir consideraciones técnicas para mejorar la restauración a nivel de paisaje mediante el uso de este tipo de especies.

RESTAURACION DEL PAISAJE EN CHILE

La restauración del paisaje se enfoca en "restaurar hacia adelante" con el fin de ofrecer múltiples beneficios y usos de la tierra a lo largo del tiempo. Un paisaje restaurado puede incluir áreas regeneradas naturalmente, agrosilvicultura, árboles en predios, manglares, reservas de vida silvestre protegidas, plantaciones de árboles y otras plantas leñosas (Chazdon & Brancalion 2019; Chazdon *et al.*, 2020; Brancalion & Holl, 2020).

Es importante destacar que la restauración del paisaje es un proceso activo que involucra a las comunidades locales y otras partes interesadas para identificar e implementar actividades de restauración adecuadas para lograr el éxito a largo plazo. En este sentido, la participación de las comunidades locales es esencial para la restauración efectiva del paisaje forestal (IUCN, 2017; Chazdon *et al.*, 2020). Además, es importante señalar que la restauración del paisaje forestal no se trata solo de plantar árboles, sino de lograr objetivos claramente especificados y debe considerarse como parte de un proceso multidisciplinario de toma de decisiones que evalúa cuidadosamente las compensaciones e incertidumbres (Bozzano *et al.*, 2014; Thomas *et al.*, 2014; Chazdon & Brancalion, 2019).

En Chile, los compromisos para abordar la pérdida de ecosistemas naturales y procesos productivos poco sostenibles se encuentran en el Plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021-2030. Según el Programa de acción nacional de lucha contra la desertificación de las tierras y la sequía (PANCD) de Chile 2016-2030 (www.enccrv.cl/pancd), el 79,1% del país tiene algún grado de riesgo de degradación de la tierra, afectando a más de 12 millones de habitantes. La desertificación es uno de los problemas más graves, afectando más del 60% del territorio nacional y causando impactos negativos en la biodiversidad, los suelos y la productividad silvoagropecuaria. Además, la población rural en estos ambientes sufre las consecuencias, incluyendo altos índices de pobreza, falta de oportunidades y migración. El Reporte Nacional de Degradación de las Tierras (CONAF, 2020) actualiza el mapa de riesgo, mostrando que el 23% del territorio nacional presenta riesgo potencial de desertificación, mientras que el 53% presenta riesgo de sequía.

ESPECIES MELÍFERAS Y RESTAURACIÓN

La inclusión de arbustos y árboles melíferos en paisajes agrícolas degradados o deforestados puede proporcionar hábitats para anidar e invernar a los polinizadores nativos (Tangtorwongsakul *et al.*, 2018; Ramsden *et al.*, 2015), aumentando la diversidad y la abundancia de polinizadores; también aumenta las fuentes de néctar que mejoran la nutrición y fortalecen las colmenas de *A. mellifera* (Morandin y Kremen, 2013; Medeiros 2019; Al-Ghamdi *et al.*, 2020, Donkersley 2019). Para el caso de las abejas, la inclusión de especies melíferas ayuda al pecoreo en condiciones subóptimas, cuando los recursos de néctar y polen son escasos. A su vez, el aumento en la población de polinizadores mejora la polinización de los cultivos (Truell *et al.*, 2008; Tschardt *et al.*, 2012). Al respecto, es importante destacar que los polinizadores, como las abejas y otros insectos, contribuyen a la producción de más del 75% de los cultivos alimentarios y son cruciales para la economía global (Klein *et al.*, 2007).

En términos de productividad, se ha observado que los árboles pueden ofrecer un importante flujo de néctar y polen, incluso con una mayor densidad de recursos en comparación con las especies herbáceas. Por lo tanto, aunque algunas especies herbáceas de siembra masiva, como las praderas, pueden ofrecer un recurso significativo en una gran área geográfica, los árboles pueden proporcionar recursos más densos por unidad de área (Figura 1).

Promover la plantación de árboles melíferos es una estrategia importante para la restauración a nivel de paisaje, sobre todo en aquellos ecosistemas degradados por la deforestación, la fragmentación del hábitat, la contaminación y el cambio climático, entre otros factores. Además de ofrecer mayor valor de conservación a las especies arbóreas melíferas nativas, la plantación de árboles puede atraer más polinizadores y mejorar la estructura del suelo, reducir el flujo de agua superficial, disminuir la temperatura del aire y del suelo, capturar carbono atmosférico y atraer organismos que proporcionan otros servicios y funciones ecosistémicas (Donkersley, 2019).



Figura 1. Esquema de la densidad de flores de una pradera (izquierda) y una especie melífera nativa (*Escallonia pulverulenta*) (derecha).

Especies Melíferas para Restauración y Conservación Forestal en Chile

En Chile, el uso apícola del bosque nativo tiene una gran importancia en la valoración y conservación de estos ecosistemas. La actividad apícola es vista como una forma de aprovechar de manera sostenible los recursos vegetales, ya que se considera al bosque nativo como un "productor" de miel y otros productos apícolas. Esta valoración económica incentiva a los propietarios a querer plantar estas especies y a conservar la vegetación natural, reduciendo así la presión antrópica sobre los ecosistemas. Además, el uso apícola del bosque contribuye a la mantención de los equilibrios ecológicos, ya que la actividad apícola fomenta la preservación de la biodiversidad y la conservación de la flora endémica, contribuyendo a asegurar las funciones y servicios ecosistémicos.

El Proyecto de INNOVA CORFO “Producción de Mielés Diferenciadas en la Región de Coquimbo, ejecutado por INFOR en zonas áridas y semiáridas de Chile, elaboró pautas para el establecimiento y manejo de huertos multipropósito de especies forestales nativas y exóticas, orientados a potenciar la producción de mieles diferenciadas para acceder a nuevos mercados. Aquí se acuñó el nombre de “Huerto Melífero”, definido como una plantación mixta de árboles, arbustos y hierbas, con especies de aptitud melífera, preferentemente orientadas a la producción de néctar y polen (Perret *et al.*, 2012).

Iniciativas locales, como el “Programa de Forestaciones Melíferas” impulsado por CONAF Los Ríos y la Municipalidad de Panguipulli en colaboración con otros actores, han tenido por objetivo mejorar el trabajo de pequeños apicultores y valorar el ecosistema forestal de la comuna. Por otra parte, el Programa FNDR regional “Transferencia Flora Forestal Melífera para mejorar el negocio apícola del Biobío”, ejecutado por INFOR en su Fase I (2015-2018) y II (2019-2023), aumentó la cantidad de flores melíferas en la región mediante el establecimiento de huertos melíferos con mezclas de especies forestales nativas reconocidas por el valor melífero de sus flores. Al usar múltiples especies, se aprovechan sus diferencias fenológicas para extender la temporada de floración, lo que permite una oferta de néctar y polen por un período más prolongado.

Los huertos melíferos también pueden incluir especies melíferas específicas para la producción de mieles monoflorales con propiedades demostradas, como la miel de quillay y tineo, que tienen propiedades antioxidantes, o la miel de ulmo y tiaca, que presentan propiedades bactericidas (**Cuadro 1**). De esta manera, el Programa busca mejorar el negocio apícola en la región mediante el manejo y suplementación de la diversidad floral (Montenegro & Ortega, 2013). En la ejecución de ambas fases del programa se establecieron un total de 204 huertos melíferos cercano a 200 ha distribuidos en la región del Biobío.

Cuadro 1. Especies vegetales endémicas o nativas que producen mieles monoflorales.

Tipología de mieles monoflorales	Ubicación	Propiedades Demostradas (*)
Quillay (<i>Quillaja saponaria</i>)	Matorral esclerófilo de Chile central; comunidades vegetacionales de zona mediterránea árida, semiárida y subhúmeda.	Positivo potencial sensorial; antioxidante.
Ulmo (<i>Eucryphia cordifolia</i>)	Bosque templado valdiviano.	Bactericida; fungicida.
Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>)	Matorral esclerófilo de Chile central; Bosque templado valdiviano.	Antioxidante.
Avellano (<i>Gevuina avellana</i>)	Bosque esclerófilo de la zona subhúmeda; Bosque templado valdiviano.	Positivo potencial sensorial.
Corontillo (<i>Escallonia pulverulenta</i>)	Matorral esclerófilo de Chile central	Bactericida.
Siete camisas (<i>Escallonia rubra</i>)	Matorral esclerófilo de Chile central; Bosque templado valdiviano.	Bactericida.
Tevo (<i>Retanilla trinervia</i>)	Matorral esclerófilo de Chile central.	Bactericida.
Tiaca (<i>Caldcluvia paniculata</i>)	Bosque templado valdiviano.	Bactericida; fungicida.
Tineo (<i>Weinmannia trichosperma</i>)	Bosque templado valdiviano.	Antioxidante

(*) Fuente: Montenegro & Ortega, 2013.

CONSIDERACIONES PARA LA RESTAURACION DE PAISAJE CON ESPECIES MELÍFERAS

Diversidad Genética y Cambio Climático

La restauración de paisajes mediante el uso de especies melíferas nativas se considera un modelo exitoso, que se puede extrapolar a nivel nacional. La simple plantación de estas especies no es suficiente para

recuperar las funciones y servicios ecosistémicos de un paisaje, es necesario realizar una selección adecuada de las especies a plantar, tomando en cuenta consideraciones genéticas del material y aspectos edafoclimáticos del lugar de plantación, entre otros factores.

Entre las consideraciones genéticas, los programas de restauración deben imperativamente considerar la diversidad genética (Ipinza & Gutiérrez, 2014; Thomas *et al.*, 2014), esta se refiere a la variación de los genes (alelos) de una población, y es considerada el nivel primario de biodiversidad. Los genes son el nivel de organización donde se genera la mayor variación, lo que permite a las poblaciones evolucionar y adaptarse a su ambiente. Sin diversidad genética, una especie no puede evolucionar y adaptarse a los cambios ambientales, experimentando una posibilidad mayor de extinción. Las especies tienen tres opciones que les permiten sobrevivir ante los rápidos cambios ambientales: dispersión, plasticidad fenotípica y adaptación. Si las primeras dos opciones no se cumplen, la sobrevivencia de una especie requerirá un rápido cambio adaptativo, que solo es posible si se ha mantenido un nivel adecuado de variación genética (Hedrick, 1999; Eriksson *et al.*, 2002; Donoso & Gallo, 2004; Eckert *et al.*, 2008).

Es importante recordar que la diversidad genética es fundamental para la supervivencia y adaptación de las especies leñosas en su entorno. La variabilidad genética les permite adaptarse a diferentes condiciones edafoclimáticas (Templeton, 1994; Donoso & Gallo, 2004). La falta de diversidad genética puede hacer que las poblaciones de especies leñosas sean más vulnerables a eventos extremos como incendios forestales, sequías y enfermedades. Además, la homogeneidad genética puede reducir la capacidad de las poblaciones de especies leñosas para adaptarse a los cambios ambientales, lo que puede resultar en una disminución de la productividad y la salud de los bosques (Holderegger *et al.*, 2006; Kirk & Freeland, 2011. Thomas *et al.*, 2014).

Las especies arbóreas son reconocidas por su alta diversidad genética y su capacidad para experimentar una rápida microevolución, lo que les permite adaptarse y sobrevivir a los cambios ambientales. Comprender la base genética de la adaptación al ambiente es crucial para las iniciativas de establecimiento de especies arbóreas nativas relacionadas con la conservación y la restauración, especialmente en el contexto del cambio climático. A pesar de esto, pocas estrategias de conservación consideran los recursos genéticos de las especies forestales (Ipinza y Gutiérrez, 2014; Vajana *et al.*, 2022).

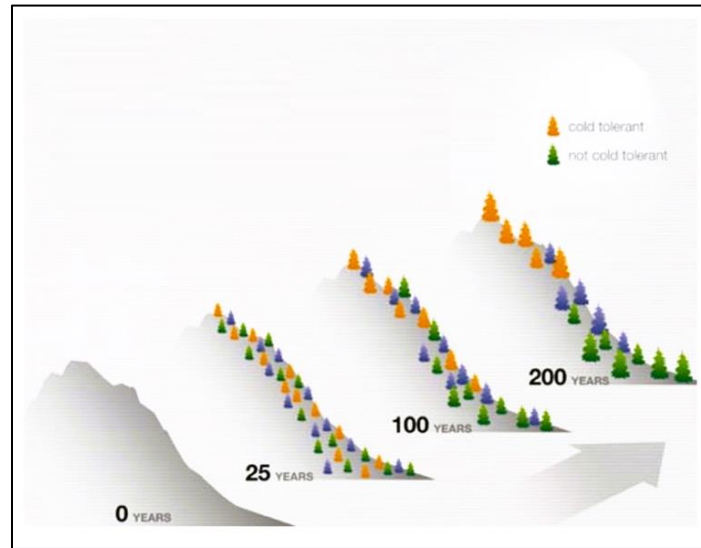
La genómica del paisaje es una disciplina relativamente nueva utilizada para estudiar la adaptación de las especies arbóreas (Holderegger *et al.*, 2006; Neale & Kremer, 2011; Sork *et al.*, 2013; Vajana *et al.*, 2022). Se trata de una aproximación que investiga las asociaciones espaciales genotipo-ambiente para identificar los genes relevantes para la adaptación de las especies. Cada vez más estudios utilizan datos genómicos a nivel de población para evaluar la vulnerabilidad genómica de las especies ante un clima cambiante (Feng & Du, 2022), lo que puede mejorar la gestión y conservación de especies arbóreas y abordar los desafíos del cambio climático (Figura 2).

Elección del Material de Propagación (Semillas)

La correcta elección de la calidad genética y origen de las semillas para producir las plantas de las especies melíferas que finalmente van a los sitios de plantación, es uno de los mayores desafíos dentro de la planificación espacial de la restauración (Thomas *et al.*, 2014; León-Lobos *et al.*, 2020; Atkinson *et al.*, 2021). En efecto, la falta de semillas de fuentes suficientemente diversas es un problema generalizado en los proyectos y programas de restauración del paisaje en todo el mundo (Jalonen *et al.*, 2018), situación que ha sido destacado en el “Plan de Acción Mundial para la Conservación, Utilización Sostenible y Desarrollo de los Recursos Genéticos Forestales” (FAO 2014), donde se estableció la necesidad estratégica de: (i) Elaborar y reforzar los programas nacionales de semillas, a fin de garantizar la disponibilidad en cantidad y calidad de semillas genéticamente apropiadas para los programas de plantación; y (ii) Promover la restauración y rehabilitación de los ecosistemas usando material genético apropiado.

Una evaluación realizada en Chile por Bioversity International (www.bioversityinternational.org) en 2017, evidenció que la falta de un suministro adecuado de semillas es un obstáculo importante para la restauración y rehabilitación efectiva de los ecosistemas forestales. En línea con estos hallazgos, Bannister

et al., (2018) y León-Lobos *et al.*, (2020) identificaron cuatro cuellos de botella técnicos para la restauración de bosques en diferentes regiones biogeográficas de Chile (**Figura 3**), entre los que también se encuentra el suministro de semillas. Estos estudios destacan la importancia de abordar los desafíos en la producción y suministro de semillas para mejorar la eficacia de la restauración forestal en Chile.



(Fuente: Wheeler & Neale, 2013)

Figura 2. La genómica del paisaje puede mejorar significativamente la gestión y conservación de especies arbóreas, permitiendo abordar de manera efectiva los desafíos del cambio climático. En la práctica, esto se traduce en la selección de semillas (material de propagación) más adecuadas para cada zona, permitiendo que se adapte a las condiciones edafoclimáticas y evolucione para generar bosques resilientes.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 3. Cuellos de botella técnicos identificados para la restauración de bosques en Chile por Bannister *et al.*, 2018 y complementado por León-Lobos *et al.*, 2020.

La demanda de semillas de árboles está aumentando rápidamente debido a las metas propuestas para el presente decenio, pero la pérdida y fragmentación continuas del hábitat de las especies están reduciendo la disponibilidad de fuentes de semillas y su diversidad genética (Ivetić *et al.*, 2016; Atkinson *et al.*, 2021). En este entorno dinámico, se necesitan mayores esfuerzos para mejorar la calidad, disponibilidad y acceso de semillas de calidad genética. Dado los compromisos nacionales e internacionales adquiridos por el país,

es urgente fortalecer los sistemas de producción y suministro de semillas a nivel nacional, regional y local para garantizar que el material de especies nativas como es el caso de las especies melíferas utilizadas en la restauración del paisaje, sean capaces de adaptarse a las condiciones locales y de persistir durante generaciones en un clima cambiante, devolviendo los servicios y funciones ecosistémicas.

Actualmente, la mejora de la calidad genética y el origen de las semillas de especies forestales con aptitud melífera es una actividad incipiente que carece de iniciativas concretas. Aunque se han realizado algunos estudios en especies con potencial melífero, estos han sido impulsados principalmente por la explotación comercial de los frutos o metabolitos de dichas especies, no considerando el repoblamiento espacial con estas especies. La falta de investigación en los suministros de semillas con calidad genética y origen conocidos de las especies arbóreas nativas, y su correcta utilización para la gestión y conservación de las especies de árboles es un desafío importante en la actualidad y representa un interesante nicho de estudio relacionado con las especies melíferas nativas, las cuales están siendo utilizadas en iniciativas de forestación o reforestación, incluyendo la restauración de paisaje.

CONCLUSIONES

La plantación de especies arbóreas melíferas es una estrategia efectiva y replicable para avanzar en la restauración del paisaje que puede contribuir a la conservación de la biodiversidad en Chile, tanto de las especies arbóreas nativas como de otros organismos asociados a estas especies. Esta práctica no solo contribuye a la mejora de la productividad de los apicultores y a la protección de los ecosistemas, sino que también proporciona otros servicios ecosistémicos, como la captura de carbono atmosférico y la reducción del flujo de agua superficial.

En Chile se han llevado a cabo iniciativas locales y regionales que buscan mejorar el trabajo de pequeños apicultores y valorar el ecosistema forestal, lo que demuestra el compromiso y la importancia de la conservación de estas especies. Sin embargo, existen obstáculos de diferente naturaleza que dificultan la implementación de estas acciones, entre tales obstáculos la carencia de un sistema confiable de suministro de semillas apropiadas para restauración se reconoce como uno de los principales.

REFERENCIAS

- Al-Ghamdi, A., Tadesse, Y., Adgaba, N. (2020).** Evaluation of major Acacia species in the nursery towards apicultural landscape restoration around Southwestern Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12): 3385-3389. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.09.002>
- APIMONDIA. (s.f.).** Trees for Bees. Recuperado el 5 de febrero de 2023, de <https://www.apimondia.org/trees-for-bees.html>
- Atkinson, R., Thomas, E., Roscioli, F., Cornelius, J.P., Zamora Cristales, R., Franco Chuaire, M., Alcázar, C. et al. 2021.** Seeding resilient restoration: An indicator system for the analysis of tree seed systems. *Diversidad*, 13(8): 367. <https://doi.org/10.3390/d13080367>
- Bannister, J. R., Vargas-Gaete, R., Ovalle, J. F., Acevedo, M., Fuentes-Ramirez, A., Donoso, P. J., Promis, A., Smith-Ramírez, C. (2018).** Major bottlenecks for the restoration of natural forests in Chile. *Restoration Ecology*, 26(6): 1039-1044. <https://doi.org/10.1111/rec.12880>
- Brancalion, P., Holl, K. (2020).** Global restoration priorities in tropical forests—The need for a better integration of science and practice. *Journal of Applied Ecology*, 57: eaav3223.
- Benedetti, S., Barros, S. (2018)** Boldo (*Peumus boldus* Mol.) Avances en la investigación para el desarrollo de modelos productivos sustentables. Santiago, Chile: INFOR - FIA.
- Betts, M., Phalan, B., Frey, S., Rousseau, J., Yang, Z. (2018).** Old-growth forests buffer climate-sensitive bird populations from warming. *Diversity and Distributions*, 24(4): 439-447. <https://doi.org/10.1111/ddi.12688>

- Bozzano, M., Jalonen, R., Thomas, E., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S., Smith, P., Loo, J. (2014).** Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. State of the World's Forest Genetic Resources – Thematic Study. FAO/Bioversity International 281 p.
- Chazdon, R., Gutierrez, V., Brancalion, P., Laestadius, L. & Guariguata, M. (2020).** Co-creating conceptual and working frameworks for implementing forest and landscape restoration based on core principles. *Forests*, 11 (6): 706. <https://doi.org/10.3390/f11060706>
- Chazdon, R. & Brancalion, P. (2019).** Restoring forests as a means to many ends. *Science*, 365 (6468): 24–25. <https://doi.org/10.1126/science.aax9539>
- CONAF. (2020).** Reporte Nacional de Degradación de las Tierras: Proyecto de Manejo Sustentable de la Tierra. Corporación Nacional Forestal de Chile.
- Donkersley, P. (2019).** Trees for bees. *Agriculture, ecosystems & environment*, N° 270. Pp: 79-83. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.024>
- Donoso, C. & Gallo, L. (2004).** Aspectos conceptuales y metodológicos. En: Donoso, C., Premoli, A., Gallo, L., Ipinza, R. 2004. Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. 23 -37 pp.
- Eckert, C., Samis, K. & Lougheed, C. (2008).** Genetic variation across species geographical ranges: the central–marginal hypothesis and beyond. *Molecular Ecology*, 17(5): 1170–1188. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03659.x>
- Eriksson, A., Haubold, B. & Mehlig, B. (2002).** Statistics of selectively neutral genetic variation. *Physical Review*, N° 65. Pp: 1-4. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.65.040901>
- FAO. (2014).** Plan de acción mundial para la conservación, la utilización sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales.
- FAO. (2020).** El estado de los bosques en el mundo – Informe completo. Roma
- Feng, L. & Du, F. (2022).** Landscape genomics in tree conservation under a changing environment. *Frontiers in Plant Science*, 95. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.822217>
- Hedrick, P. (1999).** Perspective: highly variable loci and their interpretation in evolution and conservation. *Evolution*, 53(2): 313–318. <https://doi.org/10.2307/2640768>
- Holderegger, R., Kamm, U. & Gugerli, F. (2006).** Adaptive vs. neutral genetic diversity: implications for landscape genetics. *Landscape Ecology*, 21(6): 797–807. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-5245-9>
- Ipinza, R. & Gutiérrez, B. (2014).** Consideraciones genéticas para la restauración ecológica. *Ciencia & Investigación Forestal*, 20(2): 51-72. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2014.421>
- IUCN. 2017.** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2017). Informe anual 2017. Disponible en: <https://portals.iucn.org/>
- Ivetić, V., Devetaković, J., Nonić, M., Stanković, D., & Šijačić-Nikolić, M. (2016).** Genetic diversity and forest reproductive material-from seed source selection to planting. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(5): 801. <https://doi.org/10.3832/ifor1577-009>
- Jalonen, R., Valette, M., Boshier, D., Duminil, J. & Thomas, E. (2018).** Forest and landscape restoration severely constrained by a lack of attention to the quantity and quality of tree seed: Insights from a global survey. *Conservation Letters*, 11(4), e12424. <https://doi.org/10.1111/conl.12424>
- Kirk H. & Freeland J. (2011).** Applications and implications of neutral versus non-neutral markers in molecular ecology. *Molecular Sciences*, 12(6):3966-3988. <https://doi.org/10.3390/ijms12063966>

- Klein, A., Vaissière, B., Cane, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S., Kremen, C., Tscharntke, T. (2007).** Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: Biological sciences*, 274(1608): 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- León-Lobos, P., Bustamante-Sánchez, M., Nelson, C., Alarcón, D., Hasbún, R., Way, M., Pritchard, H. & Armesto, J. (2020).** Lack of adequate seed supply is a major bottleneck for effective ecosystem restoration in Chile: friendly amendment to Bannister *et al.* (2018). *Restoration Ecology*, 28(2): 277-281. <https://doi.org/10.1111/rec.13113>
- Medeiros, H. 2019.** The effects of landscape structure and crop management on insect community and associated ecosystem services and disservices within coffee plantation. Tesis Doctoral. Universidad de Sao Paulo, Piracicaba, Brasil.
- Montenegro, G. & Ortega, X. (2013).** Innovación y valor agregado en los productos apícolas diferenciación y nuevos usos industriales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Morandin, L. & Kremen, C. (2013).** Hedgerow restoration promotes pollinator populations and exports native bees to adjacent fields. *Ecological Applications*, 23(4):829–839. <https://doi.org/10.1890/12-1051.1>
- Neale, D. & Kremer, A. (2011).** Forest tree genomics: growing resources and applications. *Nature Reviews Genetics*, 12(2): 111-122. <https://doi.org/10.1038/nrg2931>
- ONU (2019).** Decenio de las Naciones Unidas [Resolución A/RES/73/284]. Recuperado el 27 febrero 2023, de <http://undocs.org/es/A/RES/73/284>
- Perret, S., Gacitúa, S. & Villalobos, E. (2012).** Huertos melíferos sustentabilidad para la producción apícola. Santiago, Chile: INFOR.
- Ramsden, M. W., Menéndez, R., Leather, S. R., & Wäckers, F. (2015).** Optimizing field margins for biocontrol services: the relative role of aphid abundance, annual floral resources, and overwinter habitat in enhancing aphid natural enemies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, N° 199. Pp: 94-104. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.024>
- Sork, V., Aitken, S., Dyer, R., Eckert, A., Legendre, P. & Neale, D. B. (2013).** Putting the landscape into the genomics of trees: approaches for understanding local adaptation and population responses to changing climate. *Tree Genetics & Genomes*, N° 9. Pp: 901–911. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0596-x>
- Tangtorwongsakul, P., Warrit, N. & Gale, G. (2018).** Effects of landscape cover and local habitat characteristics on visiting bees in tropical orchards. *Agricultural and Forest Entomology*, doi: 10.1111/afe.12226. <https://doi.org/10.1111/afe.12226>
- Templeton, A. 1994.** Biodiversity at the molecular genetic level: experiences from disparate macro-organisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 345(1311):59-64. <https://doi.org/10.1098/rstb.1994.0086>
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S. *et al.* (2014).** Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, N° 333. Pp: 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Truell, J., Fiedler, K., Landis, D. & Isaacs, R. (2008).** Visitation by wild and managed bees (Hymenoptera: Apoidea) to eastern US native plants for use in conservation programs. *Environmental Entomology*, N° 37. Pp: 707–718. [https://doi.org/10.1603/0046-225X\(2008\)37\[707:VBWAMB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37[707:VBWAMB]2.0.CO;2)
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D. *et al.* (2012).** Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes—a review. *Journal of Applied Ecology*, 49(5): 1139-1145.

- Wright, S. & Gaut, B. (2004).** Molecular population genetics and the search for adaptive evolution in plants. *Molecular Biology and Evolution*, N° 22. Pp: 506–519. <https://doi.org/10.1093/molbev/msi035>
- Wheeler, N. & Neale, D. (2013).** Landscape genomics: An emerging discipline that can aid forest land managers with planting stock decisions. *Mountain Views: Cirmount*, 7(1): 10-14.
- Vajana, E., Bozzano, M., Marchi, M. & Piotti, A. (2022).** On the Inclusion of Adaptive Potential in Species Distribution Models: Towards a Genomic-Informed Approach to Forest Management and Conservation. *Environments*, 10(1), 3. <https://doi.org/10.3390/environments10010003>



APUNTE

Diversificación Forestal, perspectivas socioeconómicas y ambientales para la realidad chilena.

Verónica Löewe Muñoz^{1*} & Sergio Lisoni Cornejo²

¹ Instituto Forestal, sede Metropolitana, Santiago. vloewe@infor.cl

² Consultor privado. solisoni@uc.cl.

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.616>

Recibido: 22.11.2024; Aceptado 03.12.2024.

RESUMEN

A pesar del éxito de la industria forestal chilena, en términos económicos y tecnológicos, se identifica una alta concentración de especies, regiones productoras y grandes empresas, lo que limita los beneficios sociales y genera conflictos ambientales. Además, los bosques nativos enfrentan degradación por prácticas históricas extractivas y falta de manejo sustentable. En este contexto, el artículo aborda la diversificación forestal en Chile, analizando sus implicancias socioeconómicas, ambientales y productivas, proponiéndola como una solución estratégica, que promueva el cultivo de especies no tradicionales y modelos productivos innovadores como la agroforestería y la arboricultura. Estas prácticas pueden mejorar la sostenibilidad, fomentar la equidad social e impulsar el desarrollo rural. Concluye que el enfoque multipropósito de diversificación puede equilibrar los intereses productivos, ecológicos y sociales, fomentando un desarrollo forestal más inclusivo y sostenible en Chile.

Palabras clave: Diversificación forestal, especies no tradicionales, arboricultura, agroforestería.

SUMMARY

Despite the success of the Chilean forestry industry in economic and technological terms, there is a high concentration of species, producing regions and large companies, which limits social benefits and generates environmental conflicts. In addition, native forests face degradation due to historical extractive practices and lack of sustainable management. In this context, the article addresses forest diversification in Chile, analyzing its socioeconomic, environmental and productive implications, proposing it as a strategic solution that promotes the cultivation of non-traditional species and innovative production models such as agroforestry and arboriculture. These practices can improve sustainability, promote social equity and push ahead the rural development. It concludes that the multipurpose diversification approach can balance productive, ecological and social interests, promoting a more inclusive and sustainable forestry development in Chile.

Key words: Forestry diversification, non-traditional species, arboriculture, agroforestry.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas la industria forestal ha mostrado un desarrollo sostenido y reconocido, con una producción en aumento y una exportación diversificada, que en 2022 alcanzó los US\$ 6.682 millones (INFOR, 2023). Sin embargo, este desarrollo se caracteriza por una elevada concentración, tanto de especies como geográfica y patrimonial. De acuerdo con INFOR (2023), de una superficie plantada de 2,31 millones de hectáreas, el 92,3% está constituido por *Pinus radiata* y *Eucalyptus spp.*; un 66% de ellas se localiza en solo tres regiones (Maule, Biobío y Araucanía); y pertenecen a solo dos grandes compañías, a saber, Arauco y CMPC, las que concentran el 76,2% de las exportaciones. Ello ha permitido una fuerte especialización sectorial con avances significativos respecto a adquisición de conocimientos, transferencia tecnológica y mejoramiento de todo el proceso productivo de plantaciones forestales, lo que sumado a los

beneficios edafoclimáticos de nuestro territorio, se han obtenido altos rendimientos productivos logrando posicionar a las empresas forestales chilenas en lugares de avanzada dentro del concierto forestal mundial, y al sector forestal como la segunda actividad productiva más importante de Chile.

En contraposición a este auge, los conflictos ambientales directamente relacionados con empresas forestales e industrias de celulosa, han desprestigiado la imagen país y sectorial tanto a nivel nacional como internacional, lo que se suma al estado de degradación y desprotección en que se encuentra actualmente el bosque nativo, derivado de una historia de prácticas extractivas abusivas y roces para habilitar terrenos para la agricultura y a la falta de una normativa que fomente su manejo sustentable.

Socialmente, los beneficios derivados de la actividad forestal recaen en pocas grandes empresas, mientras el grueso de los pequeños y medianos productores no ha sido beneficiado con estos buenos resultados, si además se considera que existe una gran cantidad de superficie (estimada entre 2 a 4 millones de hectáreas) en manos de este segmento socio económico, se visualiza entonces una interesante oportunidad de desarrollo rural.

Unido a lo anterior, las estrategias de los países desarrollados del hemisferio norte valoran los beneficios de mantener un sector forestal diversificado, tanto en su composición silvícola como en su distribución territorial. Considerando esta realidad, los autores consideran que es posible mantener las especies cultivadas actualmente, pero enriqueciéndolas mediante el fomento a la incorporación de otras de alto interés económico. Además, mediante la diversificación del patrimonio forestal se satisfacen necesidades ambientales, ecológicas y productivas, incrementando su sustentabilidad, lo que concuerda con los nuevos paradigmas que plantean la posibilidad de una relación armónica y sustentable del hombre con su entorno, logrando un desarrollo humano, económico y la mantención de los recursos naturales.

ÉTICA AMBIENTAL: LA CONCEPCIÓN DEL HOMBRE EN RELACIÓN CON SU MEDIO.

La conservación del medio ambiente es vital para la supervivencia de la vida. El hombre con su forma de actuar, ha afectado significativamente el equilibrio ecológico, deteriorando drásticamente los recursos naturales, base de su sustento (Pérez & Huerta, 2002; Rosa *et al.*, 2004), e incluso el clima, cuyos drásticos impactos recién empezamos a vislumbrar a nivel mundial.

El aumento exponencial de la población ha traído consigo una serie de problemas ambientales, derivados de prácticas extractivas abusivas, ligadas al paradigma de satisfacer las necesidades personales con un estándar de vida elevado, cuantificado por medio de la posesión de comodidades (Cisternas, 2005). El aumento progresivo de la población mundial ha incrementado también la demanda por madera, por lo que resulta conveniente fomentar un manejo sustentable de los bosques, logrando un equilibrio entre lo social, lo ambiental y lo económico.

Las formas de consumo, que tienen directa relación con nuestra manera de relacionarnos con el medio, pueden impulsar el desarrollo de mecanismos ambientalmente sanos y socialmente justos, sin que esto involucre una pérdida económica, sino por el contrario, permita obtener una rentabilidad aceptable de los negocios.

A nivel mundial, la silvicultura ha evolucionado conceptual y metodológicamente, desde el ordenamiento forestal con el objetivo de producción maderera con rendimiento sostenido (Donoso & Lara, 1999 citado por Cisternas, 2005), hacia un enfoque integral y multipropósito (Armesto *et al.*, 1999, Arroyo *et al.*, 1999 y Donoso & Lara, 1999 citados por Cisternas, 2005; Siebert & Loewe, 2002; Mori, 2003). Por ello la tendencia es usar los bosques con una visión que incorpora otros valores del ecosistema en el manejo forestal.

Es importante destacar que en las grandes empresas forestales se ha ido incorporando en forma paulatina y creciente la responsabilidad social empresarial (RSE), que ha traído importantes beneficios en términos sociales, laborales y ambientales, lo que ha permitido mejorar la imagen de las empresas y lograr la certificación de su gestión, procesos y productos, permitiendo el ingreso o la permanencia en mercados internacionales exigentes.

El origen de estas nuevas exigencias radica en los consumidores de países desarrollados, principales agentes de cambio, que han percibido el deterioro ambiental que ha sufrido nuestro planeta y que por ello demandan productos de calidad y ambientalmente sanos.

Estas tendencias deben ser incorporadas en la planificación, toma de decisiones y gestión para desarrollar modelos productivos sustentables dentro del sector forestal, promoviendo regulaciones, mecanismos de financiamiento y transferencia tecnológica.

ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO.

El principio de uso múltiple sostenido establece que el territorio se debe destinar a la mejor combinación de usos posibles, los cuales se agrupan entre categorías de producción, protección y recreación. La visión moderna de la ordenación territorial y del desarrollo rural, urbano y natural, se desarrolla a partir de la amplia gama de usos que es factible asignarle, lo cual va más allá de los usos tradicionales, de la agricultura, silvicultura y ganadería (*Gastó et al., 2000*).

El ordenamiento territorial corresponde, a los esfuerzos por integrar la planificación socio económica con la planificación física, siempre en el mencionado intento de generar estructuras espaciales acordes con los intereses de la sociedad. En nuestro país esto apuntaría a un “desarrollo económico, eficaz y equitativo en lo social, con atención a lo cultural y ambientalmente sustentable” (Sánchez, 2001 citado por *Aguilera, 2003*). Por tanto, el ordenamiento territorial se constituye como una herramienta fundamental y básica para realizar adecuadamente las acciones humanas, ya que, si se parte de una base de desarrollo sustentable en un marco ético de responsabilidad y respeto por el medio ambiente, es primordial obtener información de las capacidades de cada unidad estructural del predio o territorio, obteniendo así su capacidad de carga y potencial uso sostenible de cada una de estas unidades. El ordenamiento territorial implica entonces, la valoración por parte de la sociedad de los elementos instalados y de las actividades realizadas en el territorio, así como el conocimiento de los atributos de éste y de los roles de sus diferentes unidades respecto a todo.

El sistema integrado de producción, que es aquel mediante el cual se concreta el ordenamiento territorial, entendiéndolo como tal al sistema que demanda una diversidad de alternativas productivas (forestales, agrícolas, y ganaderas), en una misma unidad de terreno, bajo una ordenación espacial y temporal de los recursos. Es un criterio fundamental para maximizar la diversidad de productos bajo una ordenación espacial, obteniendo retornos en diferentes escalas de tiempo (*Gatica & Pret, 2001* citado por *Aguilera, 2003*). Por tanto para su aplicación es importante conocer las diferencias de sitio que pueden existir en una propiedad, pues ello permitirá hacer el uso más adecuado de la misma e identificar las vocaciones tanto forestal, ganadera y agrícola para realizar las distintas intervenciones sobre el territorio.

DIVERSIFICACIÓN FORESTAL

La diversificación forestal se puede materializar mediante el cultivo de especies no tradicionales en el país, así como mediante el empleo de sistemas productivos innovadores (como, por ejemplo, las plantaciones mixtas). Dentro de las especies interesantes para Chile se encuentran algunas que pueden generar madera de alto valor, y otras especies cuya madera es de bajo valor pero que se utilizan para la elaboración de productos con mercado interesante (como es el caso del álamo).

Un aporte a la diversificación sectorial también estaría representado por el manejo sustentable del bosque nativo, mediante el cual se podría generar más cantidad de los productos existentes, así como nuevos productos, consolidando mercados y accediendo a otros específicos en donde no existe presencia, lo que también fomentaría la industria manufacturera que proporciona un mayor valor agregado.

Cultivo de Especies no Tradicionales

Existe un número considerable de especies (de alto valor y más tradicionales) que se pueden establecer y manejar en las distintas condiciones edafoclimáticas que presenta nuestro territorio, tan variado debido a su geografía. La incorporación de distintas especies puede planificarse con diversos objetivos: productivos, como por ejemplo la producción de madera de alto valor; de conservación (de suelo, agua, u otros); o estéticos, entre otros.

El hecho de contar con un mayor número de especies en el territorio tiene beneficios ambientales, tales como la disminución del riesgo de plagas y enfermedades, una mejor utilización de los terrenos disponibles, mayor belleza escénica y funcionalidad ecológica. En términos económicos, permitiría una mayor diversificación de los mercados, obteniéndose una mayor elasticidad para enfrentar eventuales cambios estructurales, así como el acceso a ciertos nichos de madera de mayor valor que presentan demanda insatisfecha.

Entre los aspectos que dificultan su difusión e implementación se menciona el desconocimiento de las bondades de estas especies; la falta de incentivos para su establecimiento y comercialización de productos que permitan integrar la cadena productiva; además, por ser una temática innovadora existe poco conocimiento sobre las experiencias nacionales, debiendo desarrollarse mecanismos efectivos para su adecuada transferencia tecnológica.

Aplicación de Modelos Productivos Innovadores

Es posible emplear sistemas productivos innovadores, tales como la arboricultura (en plantaciones puras o mixtas), la agroforestería y otros sistemas disponibles.

- *Arboricultura*

Tuvo sus orígenes en Europa, específicamente en Italia, hacia la década del treinta, cuando gran parte de la producción de madera se concentraba en el cultivo en hileras y cercos vivos (Loewe, 2003a). Con el tiempo esta técnica comenzó a derivar hacia el cultivo del álamo (*Populus sp*), y posteriormente se aplicó en la reforestación con coníferas de rápido crecimiento en terrenos abandonados por la agricultura, con el objeto de obtener madera aserrada y celulosa; en la década de los ochenta la arboricultura toma un nuevo enfoque, definiéndose como el cultivo de un conjunto de árboles forestales que constituye un sistema artificial, temporal o transitorio, cuyo objetivo es la obtención de productos madereros en períodos relativamente breves, según las condiciones ambientales y socioeconómicas presentes (*op. cit.*).

Actualmente la arboricultura se define como una ciencia aplicada que se dedica al cultivo temporal de árboles individuales o de un conjunto de árboles con el objetivo de producir madera con determinadas características. Dicha disciplina se caracteriza por la aplicación de técnicas culturales repentinas, racionales, fundadas sobre bases económicas, ecológicas, agronómicas y/o silviculturales. Por ello la arboricultura no puede ser clasificada ni dentro del ámbito agrario ni del ámbito forestal, sino que se ubica en una posición intermedia (Buresti, 2000, citado por Loewe, 2003b)

Esta técnica se fundamenta en seis principios (Loewe, 2003a):

- i. **Objetivo productivo:** aunque las plantaciones generen beneficios adicionales su objetivo principal es la producción de madera y generación de ingresos, por lo que ninguna operación de manejo debe obstaculizar el logro del objetivo productivo.
- ii. **Duración del ciclo productivo:** esta duración no se puede establecer a priori ya que depende de numerosas variables
- iii. **Temporalidad y reversibilidad:** se refiere a que el uso del terreno está determinado exclusivamente por la duración de la rotación, por lo que al término de ésta se puede hacer uso del terreno con el cultivo que se estime conveniente.

- iv. Complementariedad de funciones: aunque el objetivo principal es productivo, también se generan una serie de funciones complementarias que satisfacen demandas tanto para el propietario (como por ejemplo la producción de miel, leña y otros productos que pueden significar un ingreso intermedio importante para el propietario aliviando los costos totales), como para la sociedad.
- v. Compatibilidad ecológica: las intervenciones deben realizarse minimizando el impacto ambiental y las repercusiones ecológicas negativas.
- vi. Diversificación: las plantaciones deben ser lo más diversas posibles, de manera de repartir y limitar los riesgos bióticos, abióticos y económicos, lo que permite un cierto margen de acción.

Existen dos tipos de arboricultura que difieren respecto a sus objetivos: (i) de cantidad, para producir altos volúmenes de madera (concepto que involucra a las plantaciones de pino, eucalipto, álamos y otras especies); y (ii) de calidad, que busca la producción de madera con ciertas características tecnológicas y estéticas definidas, lo que podría llevar a la producción de una menor cantidad de producto pero de mayor calidad y valor. Ambas alternativas son válidas y se pueden combinar (Loewe & González, 2001).

Existen 4 alternativas factibles de plantaciones para arboricultura (Loewe, 2003a):

- i. Plantaciones puras: plantaciones monoespecíficas constituidas por la especie principal seleccionada.
- ii. Plantaciones mixtas: son plantaciones poliespecíficas, que pueden estar constituidas tanto por varias especies principales, como por una o más especie(s) principal(es) asociadas a una o más especie(s) secundaria(s), sean éstas arbóreas o arbustivas.
- iii. Plantaciones en hilera: se trata de producir madera en hileras alrededor de campos, caminos, calles o huertos, obteniéndose una mejor y mayor utilización del espacio disponible, y complementando las posibilidades de ingreso de la unidad productiva.
- iv. Producción de maderas finas dentro de cortinas cortaviento: Plantaciones destinadas a la obtención de un producto adicional de alto valor (madera fina), además de la función de protección original de la cortina.

Las plantaciones mixtas son de mayor complejidad, y requieren de profesionales competentes para el logro de los objetivos, pero proporcionan una mayor flexibilidad, pudiéndose particularizar una alternativa adecuada para cada caso en particular.

- *Agroforestería:*

Se define como el manejo de recursos naturales a través de la integración de árboles en predios agrícolas, diversificando la producción y obteniéndose beneficios sociales, económicos y ambientales para los usuarios de la tierra (ICRAF, 2000 citado por Gatica *et al.*, 2000). Si bien existen varias definiciones de agroforestería, todas ellas se concentran en un manejo integrado de todos los recursos productivos que existen en una unidad de terreno, por lo que su característica principal es la capacidad de optimizar la producción del territorio a través de una producción diversificada, en la que los árboles cumplen un rol fundamental. (Gatica *et al.*, 2000). Este rol fundamental está dado por la capacidad de generar servicios ambientales y productos forestales madereros y/o no madereros.

El desarrollo de los sistemas agroforestales se orienta a prácticas que respetan los preceptos de económicamente factible, socialmente justo y ambientalmente sano, los que permiten que el sistema sea sustentable en el tiempo, produciendo un efecto positivo para la conservación biológica y la productividad de pequeños propietarios. Este sistema se puede aplicar bien en propietarios con una dinámica agrícola o ganadera con potencialidad de incorporar especies arbóreas con distintos fines, para maximizar los servicios ambientales del predio y su productividad.

El uso de especies leñosas junto a actividades agropecuarias permite balancear las actividades productivas con la conservación de otros recursos naturales del predio, tales como el suelo, el agua, la biodiversidad, animales domésticos y cultivos agrícolas.

Se debe tener especial cuidado en la selección de la especie, se debe encontrar en un sitio adecuado, plantar oportunamente, sembrar las praderas y manejar los animales con un ordenamiento adecuado al predio⁴. La mayor productividad observada en sistemas agroforestales se explica porque el árbol y la planta anual, cuando están asociados y manejados en forma apropiada, establecen una sinergia en la distribución de los recursos de luz, agua y nutrientes del suelo (Revista de Investigación Europea, 2004). De forma natural, la competencia con el cultivo obliga al árbol a tener raíces más profundas, de modo que los árboles acaban por formar una malla de raíces que pasa bajo las capas superficiales del suelo ocupadas por los cultivos. Esto les permite recuperar el agua y los nutrientes que escapan a los cultivos, lo que explica la mejora de la productividad desde el punto de vista silvícola. Igualmente, se acelera el crecimiento del árbol respecto a una parcela enteramente plantada con árboles, ya que éstos no entran en competencia los unos con los otros. Además, los árboles tienen un efecto protector sobre los cultivos. Cortan el viento y atenúan las lluvias o la exposición excesiva a los rayos solares (Dupraz, 2004). Por tanto, la característica principal de un sistema agroforestal es la capacidad de optimizar la producción de un sitio determinado a través de una producción diversificada.

Dentro de los beneficios que se pueden obtener mediante los modelos agroforestales se encuentran los siguientes: la variedad de productos obtenidos como resultado del establecimiento de especies leñosas (como por ejemplo madera, leña, carbón, forraje, taninos y tinturas, compuestos medicinales, miel y hongos); productos derivados de la actividad agrícola (frutos, hortalizas, etc.); y productos derivados de la actividad ganadera (carne, leche, lana, cuero). Además, se obtienen beneficios indirectos que corresponden a los servicios de conservación de otros recursos naturales renovables, aumento de la productividad y sostenibilidad de la actividad agrícola, entre los cuales se mencionan la protección, fertilización y recuperación del suelo, mayor retención de agua, regulación de microclimas, control biológico, y otros (Benedetti & Valdés, 1996).

Según Budowski (1993, citado por Benedetti & Valdés, 1996) las ventajas de un sistema agroforestal se refieren a:

- Los productores obtienen beneficios económicos al satisfacer sus necesidades, además de obtener productos directos de los modelos, reduciendo su dependencia y riesgos asociados a los monocultivos tales como plagas, fluctuaciones de precios, regímenes pluviométricos irregulares, etc.
- Las inversiones económicas asociadas al establecimiento de árboles pueden aminorarse considerablemente gracias a los ingresos intermedios de los cultivos anuales, y también por el aprovechamiento de los productos de poda y raleos.
- La presencia de árboles usualmente disminuye los costos de control de malezas, y también pueden utilizarse como cercos.
- Se flexibiliza la distribución de la carga de trabajo durante el año.
- Se favorece la vida silvestre aprovechable para obtención de proteínas.
- Existe un campo amplio para accionar, ya que al diseñar los sistemas se pueden identificar múltiples combinaciones productivas con buenos rendimientos asociando las especies más deseadas, tanto de plantas como de animales, en el espacio y en el tiempo, basándose en la experiencia local y mundial.

Entre las desventajas (*op. cit*) se mencionan:

⁴ Red Agroforestal Nacional. Proyecto INFOR. Consultado en www.agroforesteria.cl

- En ciertos casos los rendimientos pueden ser menores que en los cultivos puros; a pesar de que el valor combinado de árboles y cultivos es mayor, se requiere más tiempo para recuperar la inversión del rubro forestal.
- La agroforestería se asocia frecuentemente a economías de subsistencia, en las que existe pocos esfuerzos por mejorar las prácticas agrícolas, por lo que se argumenta que muchas de estas prácticas no estimulan a los pequeños agricultores a abandonar su situación socioeconómica de pobreza. Esto es sólo una aproximación de la realidad, ya que mediante la implementación de componentes arbóreos se pueden aumentar los ingresos y por lo tanto hacer de sus actividades productivas un negocio rentable. En áreas deprimidas esta recuperación económica puede tomar mayor tiempo que en áreas con cultivos más rentables, debido al lapso requerido para obtener árboles cosechables.
- En territorios densamente poblados y con poco recurso suelo, donde la sobrevivencia depende de la próxima cosecha, puede haber resistencia para plantar o cuidar árboles.
- Escaso personal capacitado que maneje o mejore los sistemas agroforestales existentes, o diseñe nuevos e instale parcelas demostrativas.
- La agroforestería es más compleja por lo que se hace más difícil evaluar las prácticas, hacer diseños experimentales y controlar variables, por lo que su estudio resulta más costoso.
- Falta de conocimientos sobre potencialidades de la agroforestería entre tomadores de decisión, lo que se traduce en escasez de financiamiento para programas de investigación y extensión.

Los modelos agroforestales se encuentran arraigados en la concepción campesina y de pequeños propietarios, ya que ellos en su mayoría comprenden que su desarrollo depende de la armonía con el entorno. Estos modelos pueden ser una alternativa de desarrollo en lugares donde existe pobreza ligada a un fuerte deterioro de los recursos por malas prácticas, por lo tanto, puede enriquecer y fomentar el desarrollo de estas comunidades. Por ello se necesita de un amplio apoyo a través de instrumentos de financiamiento y mecanismos de transferencia tecnológica, de difusión de experiencias y de capacitación, con el fin de mejorar la calidad de vida de los propietarios que habitan estos suelos.

Manejo Sustentable de Bosque Nativo

Permite aumentar la funcionalidad y productividad del bosque, generando ingresos para los propietarios y mejorando sus oportunidades reales de desarrollo. Además, puede representar una alternativa forestal rentable, lo que se suma a la ventaja de menores costos de establecimiento, fertilización, riego, y otros, permitiendo a la vez la conservación del recurso.

Dentro de sus ventajas están:

- Valorización de los recursos forestales nativos, lo que impulsa su conservación y un manejo sustentable que permite aumentar la calidad y valor de los productos que se obtienen del bosque, lo que puede derivar en un aumento progresivo de los ingresos de los propietarios como consecuencia de productos madereros o no madereros, o por concepto de ecoturismo o actividades recreacionales.
- La mantención de los servicios ambientales del bosque, y disminución de la presión sobre los bosques naturales para la obtención de leña y astillas, ya que con un manejo adecuado pueden obtenerse a partir de los desechos de la cosecha.
- Mejoran los accesos a los bosques.
- Se fomenta la asociatividad entre los propietarios.

Las mayores desventajas se relacionan a la conformación de una Política Nacional Forestal y un Marco Regulatorio que permita potenciar esta alternativa de manera sólida, permitiendo regular, incentivar, difundir, capacitar, transferir conocimientos y fiscalizar de manera apropiada esta actividad.

CONCLUSIONES

La industria forestal ha crecido significativamente en los últimos años, ligada principalmente al precio de la celulosa, lo que ha traído mucha bonanza para el sector y para el país, tanto en lo económico como en lo tecnológico, conocimiento, desarrollo e innovación; pero estos beneficios no se han traducido de manera efectiva hacia algunos segmentos que también forman parte del sector forestal.

El modelo de plantaciones puras industriales a gran escala no ha sido eficiente para lograr el desarrollo integral sectorial, por lo que resulta imprescindible promover y fomentar la inclusión de los pequeños y medianos propietarios que poseen terrenos con características forestales y que hasta ahora han sido marginados, como una forma de mejorar su calidad de vida, así como las condiciones de degradación de los suelos. En este sentido, la diversificación forestal presenta una oportunidad a explorar para la realidad forestal chilena, mediante la I&D de nuevas alternativas productivas que promuevan objetivos diferentes, y resalten productos de alto valor y calidad (que presentan una ganancia marginal elevada, y que por lo tanto pueden ser producidos en volúmenes reducidos), lo que unido a un desarrollo integral multipropósito de los sitios a través de una ordenación efectiva del territorio, podría generar nuevas formas de desarrollo ambientalmente sanas, socialmente justas y económicamente rentables, fomentando así una cultura forestal transversal en la sociedad chilena.

REFERENCIAS

- Aguilera, M. (2003).** Ordenamiento territorial. Cartilla Agroforestal N°3, Programa Modelos Agroforestales para un Desarrollo Sustentable de la Agricultura Familiar Campesina. Red de Agroforestería Nacional. Proyecto INFOR-INDAP.
- Benedetti, S. & Valdés, J. (1996).** Prácticas agroforestales tradicionales en la zona Árida y Semiárida de Chile. CONAF. La Serena, Chile.
- Cisternas, J.C. (2005).** Silvicultura profunda, una propuesta para la discusión. Revista Chile Forestal, N° 314. Pp: 12-15.
- Dupraz, C. (2004).** Investigador Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Montpellier, Francia. Coordinador del Proyecto SAFE. Revista de la Investigación Europea. N° 43. Noviembre 2004. En: http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/43/print_article_1656_es.html
- Gastó, J., Retamal, A. & Guzmán, D. (2000).** Proyecto Pumalín. Informe Técnico Santuario de la Naturaleza. Pontificia Universidad Católica de Chile – Fundación The Conservation Land Trust. Santiago. 98 p.
- Gatica, V., Pret, S. & Zúñiga, S. (2000).** La agroforestería en la pequeña propiedad del secano. Manual N° 27. INFOR. Santiago. 86 p.
- INFOR. (2005).** Exportaciones Forestales Chilenas. Boletín Estadístico N° 109.
- INFOR (2023).** El sector forestal chileno 2023. INFOR, Área de Información y Economía Forestal. Santiago. 48 p.
- Loewe, V. (2003a).** Perspectivas de Desarrollo de la Arboricultura para la Producción de Madera de Alto valor en Chile. Fundación para la Innovación Agraria - Instituto Forestal. Santiago.
- Loewe, V. (2003b).** Arboricultura para producción de madera de alto valor. Ed. Pacífico, Santiago.
- Loewe, V. & González, M. (2001).** Plantaciones Mixtas. Una técnica de Innovación Productiva Apropriada para la Producción de Maderas Valiosas. Proyecto "Plantaciones Mixtas: productividad, diversidad y sustentabilidad para el desarrollo forestal". Instituto Forestal y Fundación para la Innovación Agraria. Santiago. 32 p.
- Mori, P. (2003).** Arboricultura: una scelta multifunzionale. Revista Sherwood, N° 93.
- Pérez, J.J. & Huerta, I. (2002).** Agroforestería y ética ambiental en la gerencia de sistemas de producción. Revista Venezolana de Gerencia, 7(17): 64-74. <https://doi.org/10.31876/revista.v7i17.9327>

Revista de la Investigación Europea. (2004). Revista Electrónica N° 43. Noviembre. En:
http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/43/print_article_1656_es.html

Rosa, H., Kandel, S. & Dimas, L. (2004). Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales. Lecciones de las Américas y temas críticos para fortalecer estrategias comunitarias. México. En:
http://www.prisma.org.sv/pubs/CES_RC_Es.pdf.

Siebert, W.H. & Loewe, M.V. (2002). Gestione forestale compatibile con l'ambiente. L'esperienza del Cile. Revista Sherwood, N° 77. Pp: 21-24.



APUNTE

Agroforestería: Un aporte a la sustentabilidad de la pequeña y mediana agricultura en Chile.

Susana Benedetti Ruíz^{1*}

¹ Instituto Forestal, sede Metropolitana, Santiago. sbenedet@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.617>

Recibido: 22.11.2024; Aceptado 04.12.2024

RESUMEN

La agroforestería, entendida como la integración de actividades agrícolas, ganaderas y forestales, es una práctica tradicional con raíces históricas, que combina conocimientos empíricos y socioculturales para maximizar el uso de recursos y minimizar riesgos, especialmente en la pequeña agricultura familiar. En tal contexto, en el documento se destaca la importancia de incorporar el componente forestal en los sistemas de producción agropecuario y se describe una serie de prácticas agroforestales empleadas en distintas áreas y entornos ambientales y culturales del país.

Palabras clave: agroforestería, sustentabilidad, agricultura familiar.

SUMMARY

Agroforestry, understood as the integration of agricultural, livestock and forestry activities, is a traditional practice with historical roots that combines empirical and socio-cultural knowledge to maximize the use of resources and minimize risks, especially in small-scale family farming. In this context, the paper highlights the importance of incorporating the forestry component in agricultural production systems and describes a series of agroforestry practices used in different areas and environmental and cultural settings of the country.

Key words: agroforestry, sustainability, family farming.

INTRODUCCIÓN

La asociación de las actividades agrícola, ganadera y forestal data de tiempos remotos y ha estado presente en la mayoría de las sociedades agrícolas. Corresponde a una lógica de aprovechamiento del espacio y los recursos, como estrategia de sobrevivencia para asegurar el sustento familiar y minimizar el riesgo. Estas combinaciones, que se podrían clasificar como Agroforestería, se expresan en distintas prácticas productivas, basadas en conocimientos tradicionales, incluso ancestrales empíricos, que se han transmitido por generaciones. Así, el valor del rescate y análisis de tales prácticas productivas representa un aporte importante al desarrollo de modelos agroforestales con bases en aspectos socioculturales.

Frente al escenario actual de cambio climático, de una agricultura cada vez más demandante de energía, de la creciente expansión de desarrollos inmobiliarios y del progresivo deterioro de la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales, la agroforestería representa una oportunidad para el desarrollo de modelos productivos y de restauración, con sustento técnico, ambiental y sociocultural. En tal contexto, el presente documento destaca las ventajas de la incorporación del componente forestal en los sistemas agropecuarios y describir las principales prácticas tradicionales de este tipo empleadas en el país.

ANTECEDENTES GENERALES

Asociar actividad agropecuaria con árboles era una costumbre generalizada en Europa desde la Edad Media (King, 1987). En la época prehispánica en el continente americano, existieron también una variedad de prácticas agroforestales, (Reynel & Morales, 1987; Carlson & Añasco, 1990, Budowski, 1994), existiendo numerosos ejemplos de la aplicación de estos principios en la cultura de los pueblos altoandinos del continente. Lamentablemente, la mayoría de esas prácticas han sido desplazados por los modelos productivos imperantes, altamente tecnificados, con importantes grados de artificialización, orientados básicamente al incremento de la productividad. Si bien estos modelos imperantes han resultado exitosos en términos económicos, uno de sus grandes desafíos es la viabilidad ambiental y social. Como consecuencia, no han logrado ser replicables a pequeña escala, lo que ha generado enormes brechas entre la producción a gran escala y la agricultura familiar campesina.

En los predios de pequeños productores es posible identificar distintos usos y distribución de éstos en el terreno, donde se conjugan una multiplicidad de actividades y diversidad de productos. Esta lógica de aprovechamiento responde a una estrategia de sobrevivencia, donde la racionalidad productiva es asegurar el sustento familiar y la minimización del riesgo. En efecto, varios estudios han mostrado, la gran diversificación en la pequeña agricultura de América Latina y le dan sustento a la hipótesis de la aversión al riesgo (Reca & Echeverría, 1998). De esta forma, los sistemas de producción campesinos se entienden como una “combinación en el espacio, de ciertas cantidades de fuerza de trabajo y de distintos medios o factores de producción, realizadas por el productor de acuerdo con sus medios, con el propósito de obtener ciertos bienes vegetales y animales. Está integrado principalmente por los subsistemas cultivos, ganadería y forestal” (Echeñique, 1994).

El uso múltiple del terreno proviene de “formas de hacer” transmitidas de padres a hijos, con incorporación de nuevas tecnologías, en la medida que sus recursos económicos lo permiten, pero siempre con usos diversos en el espacio y asociación de rubros productivos en base al manejo integral de sus recursos naturales. El pequeño productor, con o sin conocimientos técnicos e independientes del tamaño de su propiedad, planifica formas de actuación y usos de los espacios y recursos de su predio, a fin de satisfacer sus necesidades de consumo, producción, y generación de ingresos. El pequeño productor define cómo combinar usos y aprovechamientos diversos en un mismo espacio, esto no es otra cosa que planificación y uso múltiple del espacio predial (Benedetti, 2012), principios que sustentan o son la base de los conceptos de agroforestería y de ordenamiento predial. Así, la asociación de rubros surge de un conocimiento tradicional y empírico, que no responde a diseños en base a estudios científicos, razón por la cual estas formas de hacer se clasifican como “prácticas”.

En tal sentido, la agroforestería es una técnica conocida y utilizada mayoritariamente por los pequeños propietarios desde tiempos remotos, con una enorme variedad de combinaciones, ya que obligadamente deben comprender y conjugar las potencialidades y limitaciones de los ecosistemas en que habitan y adaptarlos a sus condiciones sociales, económicas y también culturales (Benedetti & Valdés, 1996). Sin embargo, hace solo unas cuantas décadas aparece en el escenario científico-técnico la Agroforestería, como una ciencia que puede aportar a la incapacidad del modelo silvoagropecuario imperante, a solucionar las demandas básicas de los habitantes rurales. A partir de 1977 se hacen los primeros intentos por definir el concepto de Agroforestería, Combe & Budowski (1979, citados por Somarriba, 1991), definen los sistemas agroforestales como el conjunto de técnicas de manejo de tierras que implican la combinación de árboles forestales ya sea con ganado o con cultivos.

Chile no ha estado ajeno a esta realidad, y es así como temas relativos a sistemas integrados de producción, ordenamiento territorial, ordenamiento predial, diversificación productiva y especies multipropósito comienzan a cobrar importancia, aunque con escasa investigación y desarrollo, que se focaliza básicamente en modelos silvopastorales.

En este contexto, se postula que la gran riqueza de las prácticas agroforestales tradicionales que se observan en Chile, producto de la gran diversidad ambiental y cultural del país, representan un aporte de enorme valor para el desarrollo de modelos agroforestales con bases culturales y sociales, que faciliten su adopción. De ahí la necesidad de su rescate, análisis y comprensión.

La disminución del bosque, de los árboles y en general de la componente forestal, se hace cada vez más notorio en los predios de pequeños productores, donde no se reconocen o están en el olvido los beneficios que los árboles pueden aportar a sus sistemas de producción. Esta merma forestal obedece a la permanente intención de replicar los sistemas productivos a gran escala. Como contraparte, la agroforestería representa una herramienta clave para reincorporar la componente forestal, arbórea o arbustiva en los sistemas productivos. Sin embargo, esta reinserción forestal demanda esfuerzos de transferencia y asesoría tecnológica, no solo a los pequeños productores sino también a los equipos técnicos de los servicios públicos vinculados al desarrollo y fomento del sector silvoagropecuario. Requiere también, y no como un aspecto de menor importancia, revisar y generar políticas públicas orientadas al fomento de la agroforestería.

BENEFICIOS DEL COMPONENTE FORESTAL EN SISTEMAS SILVOAGROPECUARIOS

La presencia de árboles en los sistemas de producción silvoagropecuaria contribuye a las soluciones basadas en la naturaleza a través de una serie de beneficios, entre ellos:

- Mejoramiento de la fertilidad del suelo
- Mejoramiento de la composición florística de la pradera
- Mantención de la humedad en el suelo
- Captura de carbono
- Disminución gases efecto invernadero
- Aumento de diversidad biológica
- Delimitación de potreros o propiedad
- Protección del viento, lluvia y radiación solar
- Biofiltros y protección de riberas
- Producción de madera y leña
- Producción de frutos, miel, semillas y follaje
- Forraje para el ganado

Los árboles poseen funciones y roles en los sistemas agroforestales, como funciones se consideran las nombradas anteriormente, en cuanto a roles se pueden identificar un rol pasivo, cuando prestan una función de mejoramiento de suelo, pradera, regulación del agua, diversidad biológica, etc. y rol activo cuando se obtiene un producto del árbol, esto es madera, leña, forraje, follaje, miel, semillas, entre otros.

PRÁCTICAS AGROFORESTALES TRADICIONALES EN CHILE

La agricultura familiar campesina en Chile está representada por distintos tipos de pequeños productores que responden a patrones étnicos, culturales y ambientales, entre ellos se distinguen las comunidades altiplánicas del norte, comunidades agrícolas de la zona centro norte, comunidades de pueblos originarios del sur y pequeños propietarios presentes en todo el país. Sus prácticas productivas corresponden en gran medida a modelos agrícola-ganaderos, donde el árbol juega un rol pasivo o activo de acuerdo con las condiciones agroclimáticas. En los ambientes con restricciones en suelo y agua, involucran en menor medida la componente arbórea, orientándose principalmente a la asociación de cultivos agrícolas y forraje. En sectores de mejores de condiciones ambientales el árbol llega a jugar un rol protagónico en la mantención de la productividad, así como en la composición del ingreso familiar. Aun cuando las prácticas tradicionales en general son comunes a todos los grupos, ellas difieren en asociaciones y arreglos espaciales, dependiendo de las condiciones ambientales y características socioculturales propias de cada uno.

A continuación, se presentan algunas de las prácticas tradicionales más representativas o particulares identificadas en Chile.

Prácticas Agroforestales de Comunidades Altiplánicas

- *Cultivos en terrazas*

Se originan en las técnicas de cultivo incas, corresponden a prácticas altamente eficientes en el aprovechamiento del agua y el espacio, se presentan en terreno de fuertes pendientes. Combinan el uso de piedras para el muro que sustenta la terraza, cultivos agrícolas en la terraza, y árboles en la parte posterior del muro como soporte de la estructura y actuando como sombra y amortiguador de la gran variación térmica presente en estas áreas. Esta práctica corresponde a un modelo silvoagrícola.

- *Bancos de proteínas.*

Corresponden a cultivos de especies forrajeras, en pendientes suaves a fuertes, en andenes o terrazas, donde se utilizan arbustos para delimitar y proteger estos sectores cultivados. El forraje se cosecha y entrega al ganado en sus corrales. Esta práctica se clasifica como silvopastoral.

- *Pastoreo en terrenos de cultivo*

Práctica que se efectúa en pendientes suaves o planos, donde se establecen estructuras similares a terrazas, pero de mayor superficie, denominadas “melgas”. En ellas se realizan cultivos agrícolas o forrajeros y se dividen a través de estructuras de piedras, pircas, o cercos vivos de arbustos. Una vez realizada la cosecha, se introducen animales por sectores durante un tiempo determinado para pastorear los restos que resultan de la cosecha. De esta forma se controla el pastoreo y se mejora el suelo a través de la incorporación de abono orgánico. Esta práctica se clasifica como agrosilvopastoral.

- *Huerto familiar*

Es una de las prácticas más comunes en el altiplano chileno. Se realizan en terrenos cercanos a las viviendas o fuera del terreno familiar, en sectores conocidos como hijuelas o tablones, generalmente de forma cuadrada o rectangular. En ellos se definen melgas, a través de camellones de barro y a veces en combinación con piedras. Estas estructuras son los accesos y las vías de riego de los cultivos, sobre ellas se disponen árboles frutales, para forraje o madera, que proveen de sombra y protección de temperaturas bajas y heladas. Los sectores de cultivo entre melgas se encuentran bajo nivel. Para la delimitación de estas zonas se utilizan cercos vivos de árboles o arbustos. Estas prácticas comprenden barbecho, rotación de cultivos y abono orgánico (guano animal o disposición de hojas y frutas húmedas sobre el terreno). Esta práctica corresponde a un modelo agrosilvopastoral

- *Bosquetes fruto-forestal*

Esta práctica se observa generalmente en hijuelas alejadas de los asentamientos humanos. Estos terrenos se delimitan con árboles forestales. En su interior se definen melgas, en las cuales se cultivan árboles frutales, forrajeros o para fines de madera o leña. Esta práctica corresponde a un modelo silvoagrícola.

Prácticas Agroforestales en Valles y Desierto del Norte Grande

- *Cortinas cortaviento y cercos vivos*

En los valles del desierto es común la asociación de árboles y cultivos agrícolas o forrajeros, donde los árboles se sitúan en los límites de la zona de cultivo a modo de deslinde y para proteger al cultivo del efecto del viento. En este último caso, los árboles se disponen en forma perpendicular al viento. Esta práctica se clasifica como silvoagrícola en caso de asociación con cultivos agrícolas, o silvopastoral en caso de cultivos forrajeros.

- *Cultivos mixtos agrícolas y árboles*

En sectores de valles u oasis, con posibilidades de riego y preferentemente planos, se realizan cultivos agrícolas o forrajeros en combinación con árboles forestales y/o frutales. Los árboles forestales van dispuestos en los límites de la zona de cultivo, a modo de deslinde y para protección de entrada de animales o extraños. Los árboles frutales se disponen al interior de la zona cultivada, en hileras intercaladas entre el cultivo. Esta práctica se clasifica como silvoagrícola.

- *Cultivo mixto de árboles y praderas*

Es un sistema similar al anterior, pero se usan árboles o arbustos forrajeros dispuestos en los deslindes del cultivo de praderas. Las zonas de cultivo corresponden a potreros de forma rectangular. De los árboles, generalmente leguminosas, se obtiene leña para carbón y se colectan los frutos para forraje o consumo humano. La tradición es plantar dos o tres árboles por árbol cosechado. Esta práctica se clasifica como silvopastoral.

- *Bosquetes de producción en salares*

Este es un caso para destacar, en terrenos altamente salinos se aprovechan árboles resistentes como algarrobo, tamarugo y chañar, provenientes de formaciones naturales o de plantación, para la obtención de carbón como producto principal, y frutos para forraje como productos secundarios. En este caso el aprovechamiento de estos bosquetes está regulado por la Ley Forestal.

Prácticas Agroforestales en Comunidades Agrícolas

Las comunidades agrícolas son una forma de tenencia comunitaria de la tierra, originada en la época de la colonia. Se presentan entre las regiones de Coquimbo y Valparaíso, generalmente en zonas con fuertes limitaciones ambientales. Las prácticas agroforestales identificadas en este grupo son:

- *Lluvias*

Son sectores de cultivo que la comunidad facilita a un comunero para cultivos de secano. La superficie depende de la capacidad de trabajo del comunero y su familia. Estos sectores se delimitan con cercos vivos de cactáceas que forman una barrera viva impenetrable. Este cerco es fundamental ya que la principal actividad productiva es la ganadería caprina. Tradicionalmente en las Lluvias se realizaban cultivos de comino, anís y trigo. En la actualidad, dado los serios problemas de sequía, estos terrenos se utilizan para forestaciones con fines forrajeros. Estas prácticas se pueden clasificar como silvoagrícolas o silvopastorales.

- *Huerto familiar*

Anexo al sector de vivienda, denominado hijuela, donde se cuenta con la posibilidad de riego, se establecen huertos donde se combinan cultivos agrícolas, frutales y árboles forestales. Estos últimos siempre se disponen delimitando el huerto o a modo de cortina cortaviento. Esta práctica se clasifica como silvoagrícola.

- *Bosquetes de protección y producción*

Corresponden a zonas comunes del campo de la comunidad, generalmente fondos de quebradas donde existen bosquetes naturales, o zonas donde se han plantado árboles. Estas zonas se usan con el fin de cobijar a los animales del sol o la lluvia, para obtener leña o proteger fuentes de agua. Esta práctica correspondería a un modelo silvopastoral.

- *Protección de riberas*

Es una práctica común, en que se efectúa plantación combinada de arbustos o árboles con la finalidad de proteger las riberas de los ríos, los cuales en épocas de lluvia pueden llegar a ser muy caudalosos.

Prácticas Agroforestales en la Zona Central

- *Pastoreo en el espinal*

El pastoreo en la estepa de espino (*Acacia caven*) es una práctica histórica en la zona central. El espino es una leguminosa fijadora de nitrógeno, por ende, la pradera natural que crece bajo esta formación vegetal es de gran diversidad y calidad forrajera. El pastoreo en esta estepa es de ganado caprino y bovino. El espino se aprovecha además para la elaboración de carbón, lo que junto al pastoreo extensivo ha influido en la gran degradación que presenta este ecosistema. Esta es una práctica silvopastoral.

- *Cultivos mixtos de árboles y cultivos xerofíticos*

Esta es una práctica menos común que puede observarse en situaciones locales del norte de la región Metropolitana y algo en la región de Valparaíso. Corresponde a la asociación de cactáceas, específicamente tunas para la obtención de la fruta, con árboles, generalmente olivos o espino. Se destaca esta práctica debido a que en la última década se observa en la región Metropolitana el desarrollo sistemas productivos diseñados y planificados de tunas con frutales, por ejemplo, almendros, basados en esta práctica.

- *Cultivo de trigo en espinal*

Si bien esta es una práctica tradicional, hoy se puede observar en espacios donde se presentaba el espinal, grandes extensiones de siembras trigo asociadas a espinos que se presentan a razón de 10 o 20 individuos por hectárea.

Otras prácticas comunes en esta zona son las cortinas cortaviento, huertos familiares, franjas de árboles o arbustos para protección y estabilización de riberas.

Prácticas Agroforestales en la Zona Sur

En esta zona se repiten varias de las prácticas antes señaladas, como las cortinas cortaviento, los cercos vivos para delimitación de la propiedad o cercos para la definición de potreros de cultivo, franjas arbóreas o arbustivas para protección de riberas. Se diferencian de las prácticas nombradas en las zonas norte y central, en que, en este caso, los árboles tienen un rol más protagónico: De ellos se obtiene madera y también leña y representan un peso relativo más importante en el ingreso familiar. Una práctica de gran importancia corresponde a los bosquetes para cobijo de animales, dado que en este caso los inviernos son más prolongados y las lluvias pueden estar presentes durante todo el año.

CONCLUSIONES

La agroforestería, basada en la combinación integral de actividades agrícolas, ganaderas y forestales, constituye una herramienta útil para enfrentar los desafíos del sector agropecuario. Este enfoque permite incorporar soluciones sostenibles que no solo mejoran la productividad, sino que también restauran ecosistemas y fortalecen las comunidades rurales.

La integración de árboles en los sistemas de producción genera beneficios múltiples, desde la mejora del suelo y el almacenamiento de carbono hasta la protección contra fenómenos climáticos y la provisión de recursos esenciales para las familias campesinas.

La riqueza de las prácticas agroforestales tradicionales en Chile, aunque en muchos casos olvidada o desplazada por modelos tecnificados, constituye un patrimonio invaluable que debe ser rescatado y adaptado a las condiciones actuales.

REFERENCIAS

- Benedetti, S. & Valdés, J. (1996).** Prácticas agroforestales tradicionales en la zona árida y semiárida de Chile. Conaf. Santiago, Chile.
- Benedetti, S. (2012).** Ordenamiento predial y la contribución de la componente forestal al sistema productivo del pequeño productor. En: Incorporación y contribución de la componente forestal al sistema predial de la pequeña agricultura. INFOR. Santiago. Pp: 35-56.
- Budowski, (1994).** El alcance y potencial de la agroforestería con énfasis en Centroamérica. En: Krishnamurthy & Rodríguez. 1995. Agroforestería en desarrollo: Educación, Investigación y Extensión. U.A. Chapingo. México.
- Carlson, P. & Añazco, M. (1990).** Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana. Red Agroforestal Ecuatoriana. Quito. Ecuador
- Echenique, J. (1994).** "Tipología de Productores Agrícolas y Políticas Diferenciadas". FAO-AGRARIA. Santiago.
- King, K. (1987).** The history of agroforestry. In: Steppled & Nair. 1987. Agroforestry: a decade of development. ICRAF, Kenya
- Reca L. & Echeverría R. (1998).** En: Agricultura, Medioambiente y Pobreza Rural en América Latina. IFPRI-BID Washington. Pp: 85-120.
- Reynel, C. & Morales C. (1987).** Agroforestería tradicional en Los Andes del Perú. Un inventario de tecnologías para la integración de la vegetación leñosa a la agricultura. FAO/Ministerio de Agricultura. Perú.
- Somarriba, E. (1991).** ¿Qué es agroforestería? Revista El Chasqui (CATIE, Turrialba, Costa Rica), N°24. Pp: 5-13.

Volumen 30 N°3. Diciembre, 2024.

CIENCIA & INVESTIGACIÓN FORESTAL



www.infor.cl
<https://revista.infor.cl>