

Volumen 28 N° 3. Diciembre 2022

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](mailto:sbarros@infor.cl) [bgutierr@infor.cl](mailto:bgutierr@infor.cl)





## CONTENIDO

### ARTÍCULOS

<b>Diagnóstico de la producción de plantas nativas en la región de Los Lagos, Chile.</b>	7
Jan Banister Hepp; Nicole Galindo Castillo; Manuel Acevedo Tapia; Marta González Ortega & Eduardo Cartes Rodríguez.	
<b>Evaluación económica de bosques seminaturales de roble y pino oregón: Estudio de caso en una empresa agrícola forestal de mediana propiedad en el centro sur de Chile.</b>	19
Burkhard Müller-Using; Helmut Keim & Sabine Müller-Using.	
<b>Caracterización y uso de biocombustibles elaborados con fines domésticos a partir de residuos forestales de <i>Pinus ponderosa</i> en Bariloche, Argentina.</b>	33
Leonardo Andreassi; Guillermo Douat; Fernando Salvare & Agustín Capitanich.	
<b>Generación de un prototipo microencapsulado de antioxidantes de hojas de maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>) a partir del programa de mejoramiento genético de Plangen en Chile.</b>	51
Roberto Ipinza Carmona. & Jorge González Campos.	
<b>Crecimiento <i>in vitro</i> de cuatro cepas de <i>Lactarius deliciosus</i> bajo diferentes niveles de pH y medios de cultivo.</b>	69
Patricio Chung Guin-Po.	
<b>APUNTES</b>	
<b>El sector forestal y su evolución, la situación actual de los bosques nativos y costos de rehabilitación de bosques nativos degradados.</b>	89
Santiago Barros Asenjo; María Molina Brand & Roberto Ipinza Carmona.	





ARTÍCULO

## Diagnóstico de la producción de plantas nativas en la región de Los Lagos, Chile.

Jan R. Bannister Hepp<sup>1\*</sup>, Nicole Galindo Castillo<sup>1</sup>, Manuel Acevedo Tapia<sup>2</sup>, Marta González Ortega<sup>2</sup> & Eduardo Cartes Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Forestal, Oficina Chiloé, Ernesto Riquelme 1212, Castro, Chile, tel.: 56 65 2633641.

<sup>2</sup> Instituto Forestal, Sede Bío bio, Camino a Coronel Km 7,5, San Pedro de la Paz, Chile<sup>3</sup>.

\*Autor para correspondencia. [jbannister@infor.cl](mailto:jbannister@infor.cl)

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.572>

Recibido: 07.09.2022; Aceptado 26.09.2022

### RESUMEN

Para enfrentar los desafíos globales de restauración, Chile ya ha comenzado a implementar programas de restauración a gran escala, sin embargo, la baja disponibilidad de plantas nativas de calidad en los viveros de Chile, ha sido definida como uno de los grandes cuellos de botella que frenan el desarrollo de la restauración de ecosistemas en el país. Este artículo tiene por objetivo caracterizar la capacidad actual de producción de plantas nativas en los viveros forestales de la región de Los Lagos, probablemente la región con mayor potencial para la restauración de ecosistemas en Chile. Según la información disponible, la región de Los Lagos no cuenta con la disponibilidad de plantas nativas necesarias para satisfacer los desafíos a corto y mediano plazo en cuanto a la forestación masiva con especies nativas. Urge implementar un programa de transferencia tecnológica permanente, el cual entre otras cosas resalte la importancia de generar e implementar protocolos adecuados de producción de plantas nativas de calidad. Este estudio además evidencia la urgente necesidad de formalizar un mayor número de viveros y contar con mejor información sobre la oferta y demanda de plantas nativas a nivel regional. Al ser la región de Los Lagos una región extensa y diversa, disponer de información estadística confiable, que incluya a sus cuatro provincias, es clave para elaborar estrategias efectivas destinadas a fomentar la producción de plantas nativas, y así ayudar al logro de los compromisos nacionales de restauración.

**Palabras clave:** restauración de ecosistemas, viveros, bosque nativo

### SUMMARY

To face global restoration challenges, Chile has already begun to implement large-scale restoration programs, however, the low availability of quality native plants in Chilean nurseries has been defined as one of the major bottlenecks that slow down the development of ecosystem restoration in the country. This work aims to characterize the current production capacity of native plants in forest nurseries of the Los Lagos region, probably the region with the greatest potential for ecosystem restoration in Chile. According to the available information, this region does not have the availability of native plants necessary to meet the restoration challenges of massive afforestation with native species in the short and medium term. In addition, it is necessary to implement a permanent technology transfer program, which among other things highlights the importance of generating and implementing adequate protocols for the production of quality native plants. This study also shows the urgent need to formalize a greater number of nurseries and have better information on the supply and demand of native plants at the regional level. As this is a large and diverse region, having good quality statistical information, which includes the four provinces of the region, is key to the development of effective strategies to promote the production of native plants, and thus help to achieve national restoration commitments.

**Key words:** ecosystem restoration, nurseries, natural forests

## INTRODUCCIÓN

Debido a los altos niveles de alteración (IPBES 2019), la restauración de ecosistemas se ha convertido en una prioridad mundial, existiendo un interés creciente sobre ésta en diferentes puntos del planeta (Gatica *et al.*, 2017; Moreno-Mateos *et al.*, 2020). Muchos países ya han comenzado a implementar programas de restauración a gran escala (Alexander *et al.*, 2011), y hay muchas iniciativas como el Acuerdo Climático de París COP21, la Declaración de Bosques de Nueva York y la Iniciativa 20x20, que apoyan la restauración forestal en todo el mundo (Bannister *et al.*, 2018). De hecho, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró recientemente el periodo entre el 2021-2030 como la Década de la Restauración de Ecosistemas (Naciones Unidas, 2019), la cual tiene por objetivo “incrementar a gran escala la restauración de los ecosistemas degradados y destruidos, como medida para luchar contra el cambio climático, mejorar la seguridad alimentaria, la recuperación de suelos degradados, del suministro hídrico, la protección de la biodiversidad y de los bosques”. Por lo tanto, se pide a las sociedades que aumenten la extensión y la funcionalidad de los ecosistemas nativos, mediante la inversión en actividades de reparación ambiental (Bastin *et al.*, 2019).

Los bosques templados de América del Sur se encuentran a lo largo de una estrecha y extensa franja de aproximadamente 2.400 km entre los 35 y 55°S en el sur de Chile y Argentina (Armesto, 1998), con una gran variabilidad de condiciones ambientales (precipitación, temperatura, viento, humedad), y representan probablemente la mayor área potencial disponible para la restauración de ecosistemas en Chile. De acuerdo a la contribución nacional determinada (NDC) actualizada al 2020 dentro del Acuerdo de París, Chile se compromete a tener 1 millón de hectáreas de paisajes en proceso de restauración al año 2030, de las cuales al menos 70.000 ha corresponden a bosques nativos plantados (MMA, 2020). Según el Registro Nacional de Restauración Ecológica del Ministerio del Ambiente ([www.gis.mma.gob.cl](http://www.gis.mma.gob.cl)), actualmente existen más de 100 iniciativas de restauración en la región bioclimática templada, la mayoría de ellas mediante regeneración artificial (principalmente forestaciones) y desarrolladas a pequeña escala en superficies inferiores a 10 ha, y excepcionalmente superiores a 100 o 500 ha. Lamentablemente, no hay información disponible respecto a la superficie total de estas iniciativas.

Para enfrentar los desafíos globales de restauración, la siembra directa y la plantación de especies arbóreas y arbustivas son las estrategias activas más comunes para restaurar sitios degradados, siendo la plantación la opción más prometedoras (Acevedo *et al.*, 2021). Esta situación contrasta con la baja disponibilidad de plantas de calidad con objetivos de restauración que existe actualmente en los viveros de Chile, lo que ha sido definido como uno de los grandes cuellos de botella que frenan el desarrollo de la restauración de ecosistemas en el país (Bannister *et al.*, 2018; Acevedo *et al.*, 2021). Dentro de los próximos años, aumentará la demanda de plantas nativas producidas bajo el concepto de "planta objetivo" (Dumroese *et al.*, 2016; Davis & Pinto, 2021), es decir plantas viverizadas para obtener atributos morfofisiológicos y de comportamiento determinados, de acuerdo con los objetivos del proyecto de restauración y las características del sitio de plantación. Además, se deberá formar a los futuros viveristas del país, ya que actualmente solo el 19% de ellos cuenta con formación técnica (Acevedo *et al.*, 2021). En este contexto, según Acevedo *et al.* (2021), con la oferta actual de plantas existente en los viveros del país, las metas internacionales de restauración se lograrían el año 2052. Por este motivo, urge la acción inmediata en tres líneas de acción: (i) la implementación de políticas gubernamentales que incentiven la generación de viveros como nueva actividad económica; (ii) el desarrollo de información basada en la ciencia para desarrollar técnicas de viverización y establecimiento de plantas, que incluya especies de diversos ecosistemas forestales; y (iii) el establecimiento de un programa permanente de transferencia tecnológica y acompañamiento técnico a los viveros forestales.

Dentro de la bioregión climática templada, la región de Los Lagos es probablemente una de las de mayor potencial para la restauración de ecosistemas, debido a su superficie disponible; sus condiciones climáticas actuales, favorables para el establecimiento de plantas nativas (en términos de temperatura, precipitación y humedad relativa, entre otros); y por las necesidades de adaptación a cambios en el clima, donde la precipitación regional se ha reducido un 5% (aprox. 200 mm) por década (Garreaud *et al.*, 2013), tendencia que se acentuará en el futuro (Boisier *et al.*, 2018). Actualmente, según datos oficiales del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), en la región de Los Lagos existe un total de 125 viveros

forestales (SAG, 2022), sin embargo, se desconoce cuántos de estos viveros están actualmente operativos, la cantidad y calidad de las plantas que ofrecen y la tecnología de viverización que usan.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo general caracterizar la capacidad actual de producción de plantas nativas de los viveros forestales en la región de Los Lagos. Específicamente se pretende: (i) determinar la oferta de plantas nativas, riqueza de especies, tipo de planta y destino de la producción realizada; (ii) caracterizar el proceso de producción en términos de uso de tecnología y formas de producción; y (iii) discutir los principales desafíos existentes en cuanto a la producción de plantas nativas a nivel regional. Basándose en esta información, el presente trabajo discute las principales limitantes para la producción de plantas nativas en la región de Los Lagos, y recomienda acciones necesarias para fomentarla a nivel regional, de tal forma de contribuir al logro de las desafiantes metas de restauración que se han propuesto a nivel nacional.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Área de Estudio y Base de Datos

El área de estudio corresponde a la región de Los Lagos, incluyendo las provincias de Osorno, Llanquihue, Chiloé y Palena. Este trabajo se fundamenta en dos bases de datos, en primer lugar, la información existente sobre disponibilidad de plantas nativas, utilizando los listados de viveros forestales entre años 2016 y 2019, publicados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2016; 2017; 2018; 2019). Estos listados incluyen un número variable de viveros según el año, siendo el mínimo el año 2018 (5 viveros) y el máximo el año 2019 con 10 viveros, incluyendo en su mayoría micro viveros (<50.000 plantas anuales), pero también pequeños (50.000 a 300.000 plantas anuales) y medianos viveros (300.000 a 2.500.000 plantas anuales). En segundo lugar, para determinar el origen y calidad de las plantas nativas y caracterizar el proceso de producción, se construyó una base de datos que incluyó viveros con y sin registro en el SAG. Para esto, se realizó una búsqueda de los principales listados y registros públicos de viveros forestales (CONAF, 2019; SAG, 2022). Este listado fue complementado con los registros de los departamentos de fomento productivo de las municipalidades de las provincias de Osorno, Llanquihue, Chiloé y Palena, además de búsquedas en internet y redes sociales durante los meses de marzo y abril de 2021. Con toda esta información se confeccionó una base de datos con 104 viveros a nivel regional, de los cuales 39 se ubican en la provincia de Osorno, 25 en la provincia de Llanquihue, 38 en la provincia de Chiloé y 2 en la provincia de Palena. Cabe mencionar, que muchos de los viveros incluidos en este listado (formales y no formales) ya no estaban operativos, por lo que fueron descartados. De esta forma, se llegó finalmente a una base de datos que incluía 88 viveros a nivel regional, con 34 en la provincia de Osorno, 21 en la provincia de Llanquihue, 31 en la provincia de Chiloé, y 2 en la provincia de Palena.

Entre abril y agosto del año 2021 se trató de contactar a los 88 viveros registrados a nivel regional, primero a través de correo electrónico y luego varias veces vía telefónica, para aplicar la encuesta "Viverización de plantas para la Región de Los Lagos". La encuesta realizada fue similar a la implementada por Acevedo *et al.* (2021) en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío. La encuesta a los viveros consideró antecedentes generales del vivero, manejo de semillas, manejo de fertilización y riego, entre otros. La encuesta fue adaptada a las condiciones locales en términos del tipo de especies a evaluar. Un total de 22 viveros respondieron la encuesta, lo que corresponde a una muestra de un 25% del total de viveros registrados (Osorno: 11,8%, Llanquihue 19,1%, Chiloé 41,9%, y Palena 50%). El 95% de los viveros que respondieron la encuesta fueron micro viveros forestales y el 5% fueron pequeños viveros forestales.

### Análisis de Datos

La disponibilidad de plantas nativas en viveros, fue caracterizada en términos de existencias (número de plantas por especie). Se contabilizó la riqueza de especies, forma de producción (raíz desnuda, bolsa, *speedling*), número de temporadas en vivero (1 año, 2 años, 3 años, >4 años) y rango de altura (<40cm, 40-80 cm, 80-150 cm, >150 cm). Paralelamente, usando la información proveniente de las encuestas, se

determinó el destino de la producción (autoabastecimiento, venta, ambos) y el tipo de cliente (pequeños, medianos y grandes propietarios, empresas, forestaciones propias, otros).

Para caracterizar el proceso de producción en términos de uso de tecnología y protocolos, se analizó las respuestas a preguntas asociadas al manejo de semillas, sustratos, riego, fertilización, raíces, plagas y enfermedades, control de malezas, atributos de plantas, protocolo de cosecha y embalaje y capacitación.

## RESULTADOS

### Plantas Disponibles en la Región de Los Lagos

Considerando la información oficial disponible, la oferta de plantas nativas a nivel regional fue estable durante el período 2016-2019 con un promedio de 1.078.845 plantas (Cuadro 1). La mayor proporción se produjo en la provincia de Llanquihue, la cual dependiendo del año concentra entre el 64,1% (2016) y 82,7% de la producción (2018). La mayor oferta fue el año 2017, existiendo una tendencia a la baja en 2019. Para el mismo período, la riqueza de especies nativas fue en promedio de 40 especies, existiendo un aumento hasta 52 especies el año 2019. La provincia que en promedio presenta la mayor riqueza de especies fue Osorno con un promedio de 30 especies.

**Cuadro 1.** Oferta de plantas nativas en viveros de la Región de Los Lagos entre los años 2016 y 2019. Se muestra el número de plantas nativas por provincia y total, y la riqueza de especies en cada caso.

	Provincia	Años				Total	Promedio anual
		2016	2017	2018	2019		
Plantas nativas disponibles (N° de plantas)	Chiloé	36.905	33.383	11.800	-	82.088	27.363
	Llanquihue	659.050	923.736	923.736	744.541	2.715.347	678.837
	Osorno	259.087	259.550	180.890	208.825	908.352	227.088
	Palena	73.878	-	-	-	73.878	73.878
	Total	1.028.920	1.216.669	1.116.426	953.366	3.779.665	1.078.845
N° de especies propagadas	Chiloé	8	7	6	0	-	7
	Llanquihue	18	17	17	41	-	23
	Osorno	30	29	28	33	-	30
	Palena	15	0	0	0	-	15
	Total	38	36	35	52	-	40

Las cinco especies más abundantes en el periodo concentran entre el 80,4% (2019) y el 90,7% (2018) de la oferta anual de plantas (Cuadro 2). La especie más propagada en viveros fue *Nothofagus dombeyi* con 35,9% - 52,5% de la oferta anual. Las otras especies fueron *Eucryphia cordifolia* (9,2% - 15,8%), *Nothofagus alpina* (7,1% - 10,2%), *Nothofagus obliqua* (7,5% - 23,8%), y *Embothrium coccineum* (4%-6,2%). En 2019, *E. coccineum* fue reemplazada por *Amomyrtus luma* que ocupó el 4 lugar grupo (7,2%) y *E. cordifolia* (15,8%) se consolidó como la segunda especie más abundante en viveros de la región

A nivel regional, el 59% de los viveros encuestados destinó su producción tanto a la venta de plantas a terceros como al autoabastecimiento, muy por encima de solo la venta (23%) o el autoabastecimiento (18%). A nivel provincial, el destino mixto de producción fue aún mayor en Chiloé (69%) y Palena (100%). Sin embargo, en Llanquihue hubo un 50% de la producción destinada a la venta, mientras que en Osorno el 50% de la producción se destinó autoabastecimiento. Además, el 73% de los viveros encuestados, tienen como clientes a pequeños propietarios (69% en Chiloé, 100% en Llanquihue, 75% en Osorno), y el 55% de los viveros vendieron plantas a medianos y grandes propietarios. Solo el 27% de los viveros encuestados vendió su producción a otras empresas y el 23% destinó sus plantas a forestaciones propias (100% en el caso del vivero de la provincia de Palena).

**Cuadro 2.** Disponibilidad absoluta y relativa de las cinco especies más producidas en viveros de la región de Los Lagos durante el periodo 2016-2019. (P: posición de la especie en el ranking de especies más producidas).

Especie	2016		2017		2018		2019	
	P	N° plantas (%)	P	N° plantas (%)	P	N° plantas (%)	P	N° plantas (%)
<i>Nothofagus dombeyi</i>	1	540.021 (52,5%)	1	549.000 (45,1%)	1	521.050 (46,7%)	1	337.887 (35,9%)
<i>Eucryphia cordifolia</i>	2	95.057 (9,2%)	4	82.100 (6,7%)	4	81.140 (7,3%)	2	148.510 (15,8%)
<i>Nothofagus alpina</i>	3	85.400 (8,3%)	3	124.486 (10,2%)	3	94.286 (8,4%)	5	66.312 (7,1%)
<i>Nothofagus obliqua</i>	4	76.950 (7,5%)	2	279.200 (22,9%)	2	266.220 (23,8%)	3	135.806 (14,4%)
<i>Embothrium coccineum</i>	5	64.290 (6,2%)	5	48.100 (4,0%)	5	50.010 (4,5%)	-	-
<i>Amomyrtus luma</i>	-	-	-	-	-	-	4	67.491 (7,2%)
Sub-Total		861.718 (83,7%)		1.082.886 (89,0%)		1.012.706 (90,7%)		756.006 (80,4%)
Otras		167.202 (16,3%)		133.783 (11,0%)		103.720 (9,3%)		197.360 (20,6%)
Total		1.028.920 (100,0%)		1.216.669 (100,0%)		1.116.426 (100,0%)		953.366 (100,0%)

### Atributos de las Plantas Disponibles en Viveros de la Región de Los Lagos

El año 2019, la oferta de plantas nativas en la región de Los Lagos fue principalmente en contenedor o speedling (94% y 54% de plantas con 1 o 2 años de viverización, respectivamente). Las plantas con 3 años de viverización fueron principalmente a raíz desnuda (92%) y las con más de 4 años de viverización, fueron plantas mayoritariamente en bolsa (56%). Existe una tendencia clara al mayor uso de *speedling* o contenedor durante el periodo evaluado, sobre todo en plantas de 1 o 2 años de viverización (Cuadro 3). Sin embargo, en los viveros de las provincias de Osorno y Chiloé se producen plantas nativas casi exclusivamente a raíz desnuda.

La mayor cantidad de las plantas disponibles en la región de Los Lagos son de menos de 40 cm de altura, oscilando entre 47% y 72,3% dependiendo del año (Cuadro 4). Las plantas entre 40 y 80 cm representan entre 23,2% y 40,2% dependiendo el año. La provincia de Llanquihue presenta este mismo patrón, pero en Osorno y parte de Chiloé, cuentan con la mayor proporción de oferta de plantas entre 40 a 80 cm de altura. Las plantas de mayor altura (81-150 cm y > 150 cm), representan en conjunto entre el 4% y 12,8% de las plantas dependiendo del año (Cuadro 4).

### Proceso de Producción de Plantas Nativas en la Región de Los Lagos

- *Medio de crecimiento y contenedores*

El 82% de las unidades encuestados a nivel regional usan suelo mineral como principal medio de crecimiento para la viverización de plantas nativas, usándose también como complemento y en menor medida otros sustratos como el compost vegetal (36%), turba (32%), arena (27%), tierra de hoja (18%), mezcla de varios sustratos (18%), compost de corteza de pino (5%) y otros sustratos (5%). El 50% de los viveros realiza algún tipo de análisis a estos sustratos, siendo en un 34% un análisis químico.

En la producción a raíz cubierta, el 68% de los viveros encuestados utiliza bolsas plásticas como principal contenedor, seguido de maceteros (18%), tubetes plásticos (14%) y bandeja de poliestireno expandido (9%), entre otros. El 36% de los viveros realiza lavado o desinfección de bandejas previo a la siembra y solo un 14% de ellos posee un protocolo implementado de llenado de bandejas.

- *Métodos de propagación de plantas*

En cuanto a protocolos de propagación, un 45% de los viveros declara tener protocolos de siembra y/o colecta de estacas o esquejes. De los que propagan por semillas, un 36% realiza sus propias colectas, las que en su totalidad, son cosechadas desde formaciones boscosas. El 23% declara que se abastece de semillas de la temporada, y solo el 27% mantiene un registro de la procedencia de estas (trazabilidad del material) durante todo el proceso de viverización. Aproximadamente un tercio de ellos (32%), declara disponer de un lugar acondicionado para el almacenamiento de semillas. Respecto a la demanda, solo el 14% de los viveros declaran que sus clientes solicitan plantas de un origen o procedencia conocida.

**Cuadro 3.** Número de plantas nativas<sup>(\*)</sup> disponibles según forma de producción, años de viverización y provincias, en viveros de la región de Los Lagos entre los años 2016 y 2019. % incluidos se refieren a proporción del total de plantas de 1, 2, 3 o > 4 años, respectivamente.

Año	Provincia	1 año			2 años			3 años			> 4 años		
		RD	B	S	RD	B	S	RD	B	S	RD	B	S
2016	Chiloé	3,6	-	-	10,2	1,0	-	15,4	3,5	-	3,2	-	-
	Llanquihue	-	-	475,7	-	7,2	54,5	105,5	16,1	-	-	-	-
	Osorno	-	-	-	200,0	1,3	-	36,1	21,7	-	-	-	-
	Palena	-	-	-	20,0	0,5	-	52,1	1,2	-	-	-	-
Total	N° plantas <sup>(*)</sup>	3,6	-	475,7	230,2	10,0	54,5	209,1	42,6	-	3,2	-	-
	(%)	1%	0%	99%	78%	3%	18%	83%	17%	0%	100%	0%	0%
2017	Chiloé	3,0	-	-	5,8	-	-	20,4	1,2	-	3,0	-	-
	Llanquihue	-	-	-	114,0	-	763,1	30,4	13,2	3,0	-	-	-
	Osorno	-	-	-	215,0	5,3	-	27,0	12,2	-	-	-	-
	Palena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	N° plantas <sup>(*)</sup>	3,0	-	-	334,8	5,3	763,1	77,8	26,7	3,0	3,0	-	-
	(%)	100%	0%	0%	30%	0%	69%	72%	25%	3%	100%	0%	0%
2018	Chiloé	-	-	-	3,5	-	-	7,1	1,2	-	-	-	-
	Llanquihue	-	-	-	114,0	-	763,1	30,4	13,2	3,0	-	-	-
	Osorno	2,0	-	-	137,4	1,6	-	28,1	11,6	-	0,2	-	-
	Palena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	N° plantas <sup>(*)</sup>	2,0	-	-	254,9	1,6	763,1	65,6	26,0	3,0	0,2	-	-
	(%)	100%	0%	0%	25%	0%	75%	69%	28%	3%	100%	0%	0%
2019	Chiloé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Llanquihue	16,2	2,5	348,0	32,0	-	209,9	92,0	3,1	6,5	-	10,2	9,5
	Osorno	0,8	2,0	7,6	143,8	1,9	-	48,3	2,6	-	0,05	1,8	-
	Palena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	N° plantas <sup>(*)</sup>	17,0	4,5	355,6	175,8	1,9	209,9	140,3	5,8	6,5	0,05	12,0	9,5
	(%)	5%	1%	94%	45%	0%	54%	92%	4%	4%	0%	56%	44%

(\*) En miles de plantas.

(RD: Raíz desnuda, S: *Speedling* o contenedor, B: Bolsa)

- *Manejo del Riego, Fertilización, Radicular y Controles de Malezas*

En cuanto al riego, el 59% de los viveros utiliza algún criterio de irrigación, el cual es en el 92% de los casos un criterio visual. Sin embargo, un 84,6% de los viveros que utilizan un criterio de riego, finalmente aplica el agua a una hora fija del día. Por otra parte, el 14% de los viveros encuestados realiza análisis al agua de irrigación, un 23% tiene un sistema de riego diseñado e implementado por un especialista, un 36% realiza monitoreo y mantención del sistema de riego, y un 32% conoce el gasto de su sistema.

En cuanto a la fertilización, un 45% de los viveros encuestados declara conocer los tipos de fertilizantes existentes, siendo los más conocidos los abonos naturales (80%), sintéticos solubles (70%), de lenta entrega (50%) y sales minerales (10%). Un 41% de los viveros declara que aplica fertilización de algún tipo, de ellos, el 44% aplica fertilizantes al sustrato, un 44% de forma mixta en sustrato y fertirrigación y un 11% solo fertirrigación. El 50% de los viveros posee un protocolo de fertilización, de ellos el 73% usa un protocolo general, indistinto de la especie, mientras que el 18% declara fertilizar en forma diferenciada por especie.

Respecto a manejos radiculares, el 77% realiza poda o descalce de raíces durante la producción, la cual se hace manual o mecánica (94%) en los casos de producción a raíz desnuda y también química (6%) si la producción es a raíz cubierta.

En relación a malezas, un 82% de los viveros implementa control de malezas durante la producción de plantas, siendo en un 84% manual, 11% la realiza de forma mecánica (raíz desnuda) y un 5% mediante la aplicación de productos químicos.

**Cuadro 4.** Oferta de plantas nativas según rangos de alturas y por provincias, en viveros de la región de Los Lagos entre los años 2016 y 2019.

Año	Provincia	<40 cm	40-80 cm	81-150 cm	>150 cm	Total	%
2016	Chiloé	4.000	11.800	20.470	635	36.905	3,6
	Llanquihue	455.700	175.750	27.600	-	659.050	64,1
	Osorno	-	206.315	51.271	1.501	259.087	25,2
	Palena	23.527	19.823	19.377	11.151	73.878	7,2
	Total (N° plantas)	483.227	413.688	118.718	13.287	<b>1.028.920</b>	-
	Total (%)	47,0	40,2	11,5	1,3	100	-
2017	Chiloé	12.300	7.020	14.063	-	33.383	2,7
	Llanquihue	799.400	124.336	-	-	923.736	75,9
	Osorno	6.950	191.720	60.850	30	259.550	21,3
	Palena	-	-	-	-	-	-
	Total (N° plantas)	818.650	323.076	74.913	30	<b>1.216.669</b>	-
	Total (%)	67,3	26,6	6,2	0,0	100	-
2018	Chiloé	9.300	2.500	-	-	11.800	1,1
	Llanquihue	799.400	124.336	-	-	923.736	82,7
	Osorno	3.550	132.420	44.740	180	180.890	16,2
	Palena	-	-	-	-	-	-
	Total (N° plantas)	812.250	259.256	44.740	180	<b>1.116.426</b>	-
	Total (%)	72,8	23,2	4,0	0,0	100	-
2019	Chiloé	-	-	-	-	-	-
	Llanquihue	589.204	100.231	3.336	51.770	744.541	78,1
	Osorno	25.420	136.500	45.772	1.133	208.825	21,9
	Palena	-	-	-	-	-	-
	Total (N° plantas)	614.624	236.731	49.108	52.903	<b>953.366</b>	-
	Total (%)	64,5	24,8	5,2	5,5	100	-

- *Diagnóstico de Deficiencias Nutricionales, Plagas y Enfermedades*

Un 77% de los viveros declara saber identificar deficiencias o toxicidades nutricionales en plantas. Un 64% de ellos, declara saber sobre las principales plagas y enfermedades que afectan a las plantas que producen. Un 50% posee un protocolo preventivo de enfermedades y plagas, y un 45% de ellos lo ha implementado. Los controles más conocidos son el biológico y químico (ambos con 41%), y el mecánico (36%). Un 32% de los viveristas conoce las herramientas para el control de plagas y enfermedades, un 23% conoce los equipos relacionados al control y un 45% conoce la época en que deben controlarlas.

- *Concepto de Planta Objetivo y Atributos que lo Determinan*

Un 86% de los viveros encuestados considera fundamental el concepto de planta objetivo, de los cuales el 74% considera la longitud de tallo como principal atributo vinculado a este concepto, seguida del potencial de crecimiento radicular (63%), el diámetro de cuello (58%), la relación tallo/raíz (58%), el área foliar (53%), resistencia al frío (53%), la presencia de micorrizas (32%), biomasa (32%), estatus nutricional (26%) y potencial hídrico (21%), entre otros. Además, el 59% de los viveros realiza monitoreo de atributos de las plantas durante el proceso de producción, siendo en su mayoría morfológico (92%). Solo un 18% declara conocer la Norma Chilena NCh 2.957 de material de propagación de plantas (NCh 2957/0.Of2006)

- *Cosecha, Embalaje y Transporte*

Un 95% de los viveros encuestados realiza cosecha manual de plantas. Un 86% selecciona las plantas por atributos al momento de la cosecha. Un 32% y 14% poseen un protocolo de embalaje y transporte de plantas, respectivamente.

- *Capacitación*

En cuanto a la capacitación, el 73% de los viveros considera necesaria una mayor transferencia tecnológica para mejorar sus procesos de producción. Un 56% declara invertir en capacitación.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Oferta de Plantas Nativas en la Región de Los Lagos

Según la información disponible de los viveros de la región de Los Lagos (CONAF, 2016, 2017, 2018 y 2019), estos disponían en 2019 de una oferta de 953.366 plantas nativas, lo que equivalía al 8,8% de las 10.893.877 plantas disponibles a nivel nacional ese año (Acevedo *et al.*, 2021). La mayor parte de esta oferta regional fueron plantas producidas en contenedor (65%), menores a 40 cm de altura (65%), que tenían como destino el autoabastecimiento (59%) a predios de pequeños propietarios (73%) y en menor medida, medianos y grandes propietarios (55%). Las características de la oferta regional de plantas nativas están determinadas por la concentración de la producción en la provincia de Llanquihue (1 vivero), provincia en la cual se produce el 78% de las plantas nativas de la región. Esto se refleja en la proporción de la producción de plantas en contenedor de esta provincia, mientras que en la provincia de Osorno domina la producción de plantas a raíz desnuda. Actualmente no existe información disponible desde el año 2019 sobre la oferta de plantas nativas en los viveros de las provincias de Chiloé y Palena, como para disminuir el efecto del peso relativo de los viveros de la provincia de Llanquihue en la determinación de la oferta regional. Por otra parte, los viveros de la región de Los Lagos evidenciaron un aumento en el número de especies que propagan, de 36 en promedio en el periodo 2016-2018, a 52 especies el 2019, no obstante, se observa una caída de 14,6% en el número de plantas disponibles, contrastando los mismos periodos. El aumento en el número de especies indica una mejor representación de las especies nativas que dominan en los bosques nativos de la región. No obstante, en este estudio no podemos establecer las razones de dicho aumento.

En el marco del proyecto +Bosques, iniciativa ejecutada por CONAF, e implementada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se deben incorporar y gestionar de manera sustentable en los próximos años más de 25 mil hectáreas de bosque nativo entre las regiones Maule a Los Lagos (véase: <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/proyecto-mas-bosques/>). Esto generará un gran aumento en la demanda por plantas nativas a nivel nacional y regional. Suponiendo, por ejemplo, que se deban implementar acciones activas de restauración con especies nativas en 5.500 ha de la región de Los Lagos, usando densidades de establecimiento de 1.000 plantas/ha (CONAF, 2013) o 3.000 plantas/ha (densidad usada frecuentemente según Ley 20.283 y decreto supremo 259), y asumiendo un 75% de supervivencia (escenario optimista), se necesitarían 1.333 o 4.000 plantas/ha. Si se utilizan los mismos criterios de calidad de plantas usados por Bannister *et al.* (2018) y Acevedo *et al.* (2021), es decir plantas de contenedor o raíz desnuda de hasta 1 año de edad, las plantas disponibles para acciones de restauración activa en la región de Los Lagos serían solo 372.600 plantas (Cuadro 3). En este contexto, con la disponibilidad actual de plantas (al año 2019) se podrían plantar entre 93 y 280 ha/año, (asumiendo que no existe otra demanda para esas plantas, como por ejemplo autoabastecimiento). Lo anterior implica que se requerirían entre 20 o 59 años para cumplir las 5.500 ha del ejemplo, en circunstancias de que el plazo oficial es el año 2026.

## Proceso de Producción de Plantas Nativas en la Región de Los Lagos

Los resultados de la encuesta a los viveros muestran que existen serias falencias en el proceso de producción de plantas, ya que entre el 45 a 50% declaran que implementan algún tipo de protocolo durante todas las etapas de la producción, no teniendo antecedentes de los aspectos técnicos específicos respecto de los protocolos que se implementan. Al respecto, [Acevedo et al. \(2021\)](#) establecieron que en la zona central de Chile es muy común el uso de recomendaciones de terceros, con poco sustento técnico específico. Esta forma de operar, conlleva serias consecuencias sobre los atributos de las plantas que se producen.

Los datos de este estudio indican que el concepto de “planta objetivo”, el cual involucra al viverista y forestador ([Dumroese, 2016](#); [Davis & Pinto, 2021](#)), es importante para los viveristas de la región, sin embargo, pocos lo aplican. Así, considerando que tanto el viverista como el forestador otorgan poco valor al origen de las semillas (27% y 14% respectivamente), que es un aspecto crucial en el concepto de planta objetivo, entonces resulta cuestionable que discutan respecto a los factores limitantes del sitio, y de los atributos que debe generar el viverista en las plantas para maximizar su desempeño bajo esas condiciones, lo que en definitiva es la esencia del concepto de la planta objetivo ([Davis & Pinto, 2021](#)). Reflejo de ello, es que solo el 18% de los viveristas declara conocer la Norma Chilena NCh 2.957 de material de propagación.

Debido a que solo el 36% de los viveros colecta sus propias semillas para producir plantas, y no existe un mercado oficial de venta de semillas en la región, es muy probable que gran parte de la oferta de plantas existentes en la región de Los Lagos provenga de pequeñas plantas repicadas desde bosques, que luego son viverizadas. Esto contrasta con estudios anteriores en que se recomienda la utilización de semillas ya que el material de propagación debe ser seleccionado en función de los objetivos de uso de las plantas, el sitio de referencia, los factores limitantes del sitio en que se establecerán éstas, considerando a su vez factores genéticos en la producción de material vegetal, lo que incluye adaptación local, diversidad genética, cambio climático y, para especies dioicas, diversidad sexual ([Dumroese et al., 2016](#)).

La fertilización se realiza en pocos viveros y en su mayoría sin tecnología asociada, usando fertilizantes en base a abonos naturales y comerciales solubles. Es más, existe una baja preocupación por la calidad del sustrato y agua utilizada en el proceso de producción, ya que solo el 50% de los viveros realiza algún tipo de análisis a los sustratos usados y solo 14% al agua utilizada. La escasa preocupación respecto a estos aspectos (agua y nutrientes), es contrario a lo recomendado para la producción de plantas bajo el concepto de “planta objetivo” ([Davis & Pinto, 2021](#); [Acevedo et al., 2021](#)). Pese al inadecuado uso del riego y fertilización en los viveros de la región, la mayor parte de los viveros implementa el control de malezas, poda y descalce de raíces, lo que se hace principalmente de forma manual. En este contexto, urge mejorar el proceso de producción de plantas nativas a nivel regional, reduciendo las brechas antes mencionadas, de tal forma de producir plantas de mejor calidad.

## Desafíos para la Producción de Plantas Nativas a Nivel Regional

Considerando la situación actual, en el marco de las metas de restauración comprometidas por el país, la región de Los Lagos no cuenta con la disponibilidad de plantas necesarias para satisfacer los desafíos a corto y mediano plazo en cuanto a la forestación masiva con especies nativas. A este escenario, se le debe sumar las plantas de autoabastecimiento que están relacionadas a demandas comunales y provinciales, demandas por compensación de obras civiles, u otras demandas privadas. Es imperioso revertir esta situación con urgencia, ya que, además, en este ejercicio no se están considerando las enormes tasas de cambio de uso del suelo existentes en provincias como Chiloé o Llanquihue ([Echeverría et al., 2008, 2012](#)), lo cual llama a desarrollar urgentemente proyectos de restauración de ecosistemas.

La escasa disponibilidad de plantas y semillas no es solo un problema regional, también ha sido identificado a nivel nacional ([León-Lobos et al., 2020](#); [Acevedo et al., 2021](#)). Para revertir este cuello de botella, estudios previos señalan que es necesario incentivar a empresas privadas para invertir en expandir los viveros existentes, y establecer nuevos viveros forestales ([Acevedo et al., 2021](#)), lo cual

debe ser complementado con un fuerte apoyo a la cadena de suministro de semillas (León-Lobos *et al.*, 2020). Esto traería consigo un impulso económico en la región, con empleos verdes y utilidades para las empresas participantes, tal como ya ha ocurrido en otros lugares de Latinoamérica, como Brasil (Mesquita *et al.*, 2010; Moreira da Silva *et al.*, 2017).

Debido al bajo nivel tecnológico de los viveros de la región, se requiere impulsar mejoras tecnológicas, para aumentar la capacidad de producción y eficiencia en cada una de las etapas del proceso de viverización. Es necesario implementar un programa de transferencia tecnológica permanente (el 73% de los viveros declaran necesitar capacitación), el cual debería entregar no solo herramientas para mejorar la tecnología de riego y fertilización en el proceso de producción de plantas, sino que debiera además resaltar la importancia de generar e implementar protocolos adecuados de producción de cada una de las especies nativas objetivo.

Un tema relevante a considerar, es que se deben establecer los atributos de plantas que maximizan el desempeño en campo, con una mirada específica para los distintos sitios de la región (cordillera de la costa vs los andes, suelos trumaos, ñadis, metamórficos, etc), comenzando por las especies más vulnerables y las más demandadas, bajo el concepto de planta objetivo. Al respecto, es posible utilizar como base las revisiones de información científica hechas por Dumroese *et al.* (2016), Grossnickle (2018), Grossnickle & Ivetić, (2022) para especies de latitudes equivalentes en el hemisferio norte.

Por último, el presente estudio evidencia la urgente necesidad de formalizar un gran número de viveros y contar con mejor información sobre la oferta y demanda de plantas nativas a nivel regional. La información actual sólo está disponible hasta el año 2019, y para el último año solo incluye viveros de las provincias de Llanquihue y Osorno. Es más, para el período 2016-2019, existe información sobre las existencias de entre 5 a 10 viveros forestales, mientras que los viveros registrados en el SAG a nivel regional, muestra 125 viveros forestales (SAG, 2022). Al ser la región de Los Lagos una región extensa y diversa, tener información estadística de buena calidad, que incluya las cuatro provincias de la región, es clave para la elaboración de estrategias efectivas para fomentar la producción de plantas nativas, y así ayudar a lograr el compromiso nacional de tener 1 millón de hectáreas de paisajes en proceso de restauración al 2030.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento entregado por el convenio INFOR-MINAGRI. Este estudio es parte del trabajo realizado por el programa de investigación en Restauración de Ecosistemas Forestales Nativos de INFOR.

## REFERENCIAS

- Acevedo, M., Álvarez-Maldini, C., Dumroese, R.K., Bannister, J.R., Cartes, E. & González, M. (2021). Native Plant Production in Chile. Is It Possible to Achieve Restoration Goals by 2035? *Land*, 10(1), 71. <https://doi.org/10.3390/land10010071>
- Alexander, S., Nelson, C.R., Aronson, J., Lamb, D., Cliquet, A., Erwin, K.L., Finlayson, C.M. *et al.* (2011). Opportunities and challenges for ecological restoration within REDD+. *Restoration Ecology*, 19(6): 683-689. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00822.x>
- Armesto, J.J., Rozzi, R., Smith-Ramírez, C. & Arroyo, M.T.K. (1998). Ecology - Conservation targets in South American temperate forests. *Science*, N° 282. Pp: 1271-1272. <https://doi.org/10.1126/science.282.5392.1271>
- Bannister, J.R., Vargas-Gaete, R., Ovalle, J.F., Acevedo, M., Fuentes-Ramírez, A., Donoso, P.J., Promis, A. & Smith-Ramírez, C. (2018). Major bottlenecks for the restoration of natural forests in Chile. *Restoration Ecology*, N° 26. Pp: 1039-1044. <https://doi.org/10.1111/rec.12880>

- Bastin, J.F., Finegold, Y., García, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C.M. & Crowther, T.W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, N° 365. Pp: 76–79. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
- Boisier, J.P., Álvarez-Garretón, C., Cordero, R.R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R.D., Lambert, F. *et al.* (2018). Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 6:74. <https://doi.org/10.1525/elementa.328>
- CONAF. (2013). Guía Básica De Buenas Prácticas Para Plantaciones Forestales De Pequeños Y Medianos Propietarios, Corporación Nacional Forestal: Santiago. Pp: 23–48.
- CONAF. (2016). Listado de Viveros Forestales 2016. Disponibles En: [https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1468589508BD\\_Censo\\_Viveros\\_Forestales\\_2016.xlsx](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1468589508BD_Censo_Viveros_Forestales_2016.xlsx)
- CONAF. (2017). Listado de Viveros Forestales. 2017. Disponibles En: [https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/15263061591496683118BD\\_Censo\\_Viveros\\_Forestales\\_2017\\_actMAY08.xlsx%20](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/15263061591496683118BD_Censo_Viveros_Forestales_2017_actMAY08.xlsx%20)
- CONAF. (2018). Listado de Viveros Forestales. 2018. Disponibles En: [https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1548256797ListadoViverosForestales2018.xlsx](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1548256797ListadoViverosForestales2018.xlsx)
- CONAF. (2019). Listado de Viveros Forestales. 2019. Disponibles En: [https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1562274595BDCensoViverosForestales2019Nacional.xlsx](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1562274595BDCensoViverosForestales2019Nacional.xlsx)
- Davis, A.S. & Pinto, J.R. (2021). The Scientific Basis of the Target Plant Concept: An Overview. *Forests*, 12: 1293. <https://doi.org/10.3390/f12091293>
- Dumroese, K.R., Landis, T.D., Pinto, J.R., Haase, D.L., Wilkinson, K.W. & Davis, A.S. (2016). Meeting forest restoration challenges: using the target plant concept. *Reforesta*, N° 1. Pp: 37-52. <https://doi.org/10.21750/REFOR.1.03.3>
- Echeverría, C., Coomes, D.A., Hall, M. & Newton, A.C. (2008). Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modelling*, N° 212. Pp: 439-449. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.10.045>
- Echeverría, C., Newton, A., Nahuelhual, L., Coomes, D. & Rey-Benayas, J.M. (2012). How landscapes change: Integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. *Applied Geography*, N° 32. Pp: 822-831. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.014>
- Garreaud, R., López, P., Minvielle, M. & Rojas, M. (2013). Large-scale control on the Patagonian climate. *Journal of Climate*, N° 26. Pp: 215-230. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00001.1>
- Gatica-Saavedra, P., Echeverría, C. & Nelson, C.R. (2017). Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. *Restoration Ecology*, N° 25. Pp: 850-857. <https://doi.org/10.1111/rec.12586>
- Grossnickle, C.S. (2018). Seedling establishment on a forest restoration site – An ecophysiological perspective. *Reforesta*, N°6. Pp: 110-139. <https://doi.org/10.21750/REFOR.6.09.62>
- Grossnickle, S.C. & Ivetić, V. (2022). Root system development and field establishment: effect of seedling quality. *New Forests*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>
- IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E.S., Settele, J., Díaz, S. & Ngo, H.T. (Eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 p.
- León-Lobos, P., Bustamante-Sánchez, M.A., Nelson, C.R., Alarcón, D., Hasbún, R., Way, M., Pritchard, H.W. & Armesto, J.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*, N° 28. Pp: 277–281. <https://doi.org/10.1111/rec.13113>
- Mesquita, C.B., Holvorcem, C.G.D., Lyrio, C.H. & De Menezes, P.D. (2010). COOPLANTAR: A Brazilian initiative to integrate forest restoration with job and income generation in rural areas. *Ecological Restoration*, N° 28. Pp: 199–207. <https://doi.org/10.3368/er.28.2.199>
- MMA. (2020). Contribución determinada a nivel nacional (NDC) Chile actualizada a 2020. 96 p.
- Moreira da Silva, A.P., Schweizer, D., Rodrigues-Marques, H., Cordeiro-Teixeira, A.M., Nascente dos Santos, T.V.M., Sambuichi, R.H.R., Badari, C.G. *et al.* (2017). Can current native tree seedling production and infrastructure meet an increasing forest restoration demand in Brazil? *Restoration Ecology*, N° 25. Pp: 509–515. <https://doi.org/10.1111/rec.12470>

- Moreno-Mateos, D., Alberdi, A., Morriën, E., van der Putten, W.H., Rodríguez-Uña, A. & Montoya, D. (2020).** The long-term restoration of ecosystem complexity. *Nature Ecology and Evolution*, N° 4. Pp: 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1154-1>
- Naciones Unidas. (2019).** United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021-2030). Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019. A/Res/73/284: 6 p.
- SAG. (2022).** Nómina de viveros inscritos en el SAG a diciembre 2021. Disponible en: <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/viveros-y-depositos-de-plantas/84/registros> . Actualizado el 13-7-2022.



ARTÍCULO

## Evaluación económica de bosques seminaturales de roble y pino oregón: Estudio de caso en una empresa agrícola-forestal de mediana propiedad en el centro-sur de Chile

Burkhard Müller-Using<sup>1\*</sup>; Helmut Keim<sup>2</sup>; Sabine Müller-Using<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ing. Forestal, Dr. Forest. Renovales Müller-Using Ltda, Panguipulli. burkhardmusing@yahoo.de

<sup>2</sup> Ing. Forestal. Pitideo Ltda, Villarrica. hkeimschilling@gmail.com

<sup>3</sup> Ing. Forestal, Dr. Forest. Instituto Forestal, Sede Los Ríos. Valdivia. Chile. smuller@infor.cl

\*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.568>

Recibido: 16.08.2022; Aceptado 28.10.2022

### RESUMEN

Se analiza económicamente el efecto de enriquecer mediante plantación suplementaria de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) a un latizal de roble (*Nothofagus obliqua*), utilizando como base los resultados de un estudio silvícola realizado en la Comuna de Máfil, Región de Los Ríos, Chile. Tomando como referencia un robledal de 60 años de edad, con un segundo estrato de pino oregón de 26 años, se elaboró un modelo del desarrollo de este bosque mixto, desde la plantación del pino oregón hasta una supuesta cosecha de ambas especies a los 80 años del roble y 46 del pino. En comparación con esta simulación, se analizó un robledal puro, usando un Diagrama de Manejo de Densidad como referencia para su desarrollo. Se demuestra así, que el bosque mixto logra tasas internas de retorno (TIR) notablemente más altas que el bosque puro de roble, cuando se deja crecer el estrato de la conífera por más de 35 años. El enriquecimiento es más eficiente mientras menor es la calidad del latizal al momento de establecer el pino oregón. La TIR del bosque mixto a la edad de 80/46 años, de roble y pino respectivamente, fue de 11,2%, donde pino oregón representa un 7,8%. En el bosque puro de roble, la TIR culminó a los 60 años (5,1%) y bajó a 3,4% a la edad de 80 años. En la mezcla estudiada el crecimiento aditivo es unilateral, es decir se ve enriquecido el roble por el pino oregón, pero no al revés.

**Palabras Clave:** *Nothofagus obliqua*, *Pseudotsuga menziesii*, manejo en dos estratos, evaluación económica, crecimiento aditivo.

### SUMMARY

The effect of enriching an roble (*Nothofagus obliqua*) stand by supplementary planting of Oregon pine (*Pseudotsuga menziesii*) is analyzed economically, using as a basis the results of a silvicultural study carried out in the Máfil Commune, Los Ríos Region, Chile. Taking as a reference a 60-year-old oak forest with a second layer of 26-year-old Oregon pine, a model of the development of this mixed forest was elaborated, from the planting of Oregon pine to an assumed harvest of both species at 80 years of age for roble and 46 years for pine. In comparison with this simulation, a pure roble forest was analyzed, using a Density Management Diagram as a reference for its development. It is shown that the mixed forest achieves significantly higher internal rates of return (IRR) than the pure roble forest, when the conifer canopy is allowed to grow for more than 35 years. Enrichment is more efficient the lower the quality of the *Nothofagus* stand at the time of establishing the Douglas fir. The IRR of the mixed forest at the age of 80/46 years, roble and Douglas fir respectively, was 11.2%, where Douglas fir represents 7.8%. In the pure *Nothofagus* forest, the IRR culminated at 60 years old (5.1%) and dropped to 3.4% at 80 years old. In the mixed forest studied, the additive growth is unilateral, i.e., Douglas fir enhances roble, but vice versa is not the case.

**Key words:** *Nothofagus obliqua*, *Pseudotsuga menziesii*, mixed forests, underplanting, financial evaluation, overyielding.

## INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, los bosques de una sola especie son escasos y se limitan a zonas de condiciones climáticas o edáficas muy específicas, que sólo permiten que prosperen aquellas especies arbóreas que hayan logrado un alto grado de adaptación, el cual les permite superar a los potenciales competidores. Esta predominancia de bosque mixtos en la naturaleza contrasta con la estructura de bosque plantados, que en la mayoría de los casos son monocultivos. Desde los inicios de las forestaciones artificiales, las plantaciones monoespecíficas se han justificado con argumentos económicos (Hartwig, 1994; Peters, 1938). Sin embargo, desde algunos decenios, iniciando en el viejo continente, se ha generado un cambio en el ámbito de la silvicultura, en que se ha reconocido que, además de las múltiples ventajas ecológicas, también la rentabilidad de los bosques mixtos supera a la de bosques de una o ambas especies plantadas en forma de monocultivo (Pretzsch, 2009; 2013). Este rendimiento aditivo de las mezclas por lo general se origina en buenos sitios y cuando las especies muestran diferencias en sus exigencias de luz, de manera que una de las dos puede aprovechar el espacio fustal de la otra, a pesar del ambiente de sombra o semi sombra generado por sus competidores menos tolerantes.

En Chile, la mezcla artificial de cubiertas forestales se reduce a pocos pares de especies y a un área plantada casi insignificante, si se les compara con el establecimiento de los monocultivos. Como único caso con algo de importancia se pueden nombrar las plantaciones llamadas “semi naturales” que combinan las especies *Nothofagus alpina* y/o *N. obliqua* con *Pseudotsuga menziesii*. Hay ejemplos de estas forestaciones entre las Regiones de La Araucanía y Los Lagos, siendo más frecuentes en la Región de Los Ríos (Mujica *et al.*, 2008). Con respecto a su estructura, casi todas estas plantaciones son coetáneas en sí. En estos casos, la experiencia ha mostrado que existen ciertos problemas de compatibilidad entre las dos especies, los que se han tratado de manejar con esquemas de espaciamiento que asignan más líneas a la especie de menos poder competitivo y menos líneas a la más vigorosa (Grosse & Müller Using, 2008). Esta última suele ser pino oregón, expresándose a mediano y largo plazo. Otra forma de mezcla se logra al plantar la especie de luz (*Nothofagus sp.*) con un avance temporal de alrededor de 20 años, previo al establecimiento de la especie más tolerante. Al quedar esta especie en el segundo estrato, se evita que se genere la fuerte competencia que se observa en rodales coetáneos (Müller-Using *et al.*, 2016). Este método es sin duda el más seguro desde el punto de vista de la compatibilidad entre las especies, pero el menos común y más complejo de manejar silvícolamente y de analizar en términos económicos, por lo cual no está estudiado aún con respecto a los resultados financieros. En el presente estudio se evaluó un predio en la comuna de Máfil, Región de los Ríos, en el que se ha estado realizando un enriquecimiento de latizales de roble con pino oregón partiendo en el año 1990, aumentando su superficie sucesivamente a 150 ha en total. Los aspectos silvícolas de estos bosques semi naturales se han tratado detalladamente en Müller-Using *et al.*, 2022.

Para este estudio se plantean las siguientes hipótesis:

- i) En base a los resultados de un manejo piloto de bosque mixto, compuesto por las especies roble (estrato superior) y pino oregón (estrato inferior), se puede desarrollar un modelo que permite proyectar el desarrollo en valor de las dos especies en su conjunto.
- ii) La rentabilidad de los renovales de roble, enriquecidos posteriormente con pino oregón supera la tasa de retorno arrojada por un modelo de roble puro bajo las mismas condiciones de sitio.
- iii) Para desplegar el potencial aditivo de pino oregón en la mezcla estudiada, es necesario adaptar la rotación del roble más allá de lo usual, de modo que el pino oregón alcance su madurez económica.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Ubicación del Estudio

El predio agrícola-forestal “El Brasil” se sitúa en las coordenadas 39°43'02,5”S; 72°59'36,7”W en la Comuna de Máfil, Región de los Ríos. Dentro de su área forestal contiene una superficie de 150 ha de

renovales de roble, originados tras una tala rasa efectuada en los años 1955/56, sin medidas posteriores de regeneración. Así se han desarrollado estos bosques en forma natural, en gran parte por brotes de tocón y en competencia con una vigorosa vegetación de la bambusácea *Chusquea quila*. Esto ha llevado a resultados deficientes con respecto a su densidad. Esta situación ha sido enfrentada mediante un programa sucesivo de enriquecimiento de los renovales, estableciendo plantaciones con 700 plantas de pino oregón, como segundo estrato bajo los robledales en fase de latizal o fustal. Así se ha creado una masa de bosques semi naturales con roble en el estrato superior y pino oregón en el inferior.

En un trabajo previo a este estudio se analizó la convivencia de ambas especies bajo distintos niveles de luminosidad, tal como se han dado por diferentes grados de apertura que representan los estratos de las copas del roble. En este contexto, se ha escogido también el caso de la más larga convivencia de ambas especies en el predio, donde roble tenía 60 años y el pino oregón en el segundo estrato 26 años (Müller-Using *et al.*, 2022). Este rodal se tomó como rodal de referencia para realizar la modelación de los escenarios. Se muestra tanto un análisis retrospectivo al momento del establecimiento del pino oregón hace 26 años, como una proyección hacia las edades 70/36 y 80/46 años de roble/pino en este bosque mixto.

### Levantamiento de Datos Dasométricos

Con el instrumental clásico de forcípula, huincha métrica y altímetro Suunto se tomaron los parámetros de DAP, altura, número de árboles y área basal (AB), en tres parcelas en el estrato de los robles. Para ello se utilizó el método de Prodan<sup>1</sup> de los seis árboles más cercanos (Prodan, 1965).

La edad promedio de cada rodal y el incremento en diámetro de los árboles se determinó usando 15 tarugos que se analizaron en el laboratorio del Centro Experimental Forestal del Estado de Baja Saxonía/Alemania (NWFVA por sus siglas en alemán).

Lo mismo se realizó en el estrato de pino oregón, donde además se voltearon 3 árboles para medir los incrementos anuales en altura de los tres últimos brotes (*shoot length*).

### Caracterización del Rodal de Referencia

- *Parámetros Dasométricos*

Las características del rodal de referencia en base al cual se realizó la reconstrucción del desarrollo de rodal en el pasado, como también la proyección futura en dos escenarios, se encuentran en el cuadro 1 proveniente del estudio silvícola descrito en Müller-Using *et al.* (2022).

**Cuadro 1.** Caracterización del bosque mixto de referencia.

Parámetro	Roble	Pino oregón con cobertura	Total
Edad (años)	60	26	
Altura total (m)	33	17	
Nº de árboles	99	700	
DAP (cm)	46	22	
AB (m <sup>2</sup> /ha)	16,5	25,4	41,9
Volumen utilizable (m <sup>3</sup> /ha)	202	158	360
Incremento periódico anual DAP (últimos 5 años)	5	8,3	
Incremento periódico anual Altura (últimos brotes)		59,5	

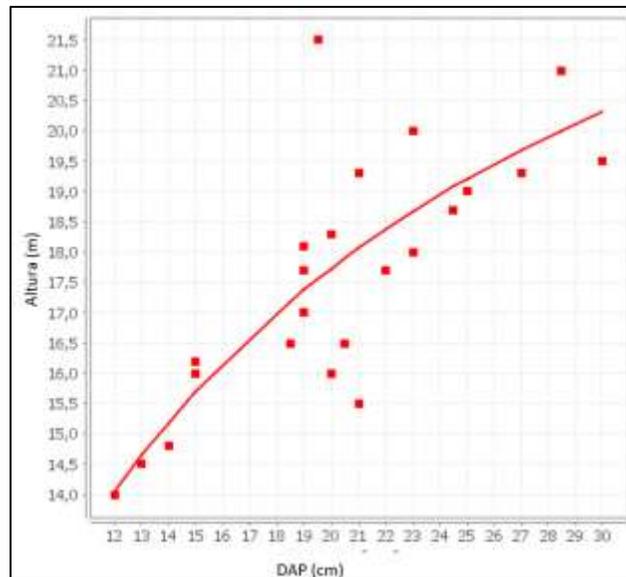
El bajo número de árboles que conforman el estrato de roble puede deberse a una deficiente densidad ya desde el origen. También es posible que, sin haber sido deficiente desde un principio, el rodal haya

<sup>1</sup> Las parcelas de Prodan son un tipo de parcela que incluye a los 6 árboles más cercanos a puntos de muestreo. En cada punto se mide la distancia al sexto árbol y los diámetros de éste y de los 5 árboles más próximos al punto.

experimentado una alta tasa de mortalidad como efecto de la competencia ejercida por el estrato de pino oregón hacia los árboles dominados o intermedios. Esto último parece plausible, al apreciar la alta proporción del área basal ocupada por pino oregón.

Un factor importante a destacar es que el bosque mixto todavía no muestra competencia en el estrato de las copas. Pino oregón con una altura de 17 m en promedio está lejos de alcanzar las copas de roble, que forman el estrato superior en 33 m de altura.

En figura 1 se presenta la relación altura diámetro del estrato de pino oregón. Se puede apreciar la gran gama de diámetros existentes.



**Figura 1.** Curva de alturas de una muestra de 25 árboles de pino oregón en el rodal mixto de referencia.

### Supuestos y Parámetros para Reconstruir y Proyectar el Componente Roble

- *Densidad*

La evaluación del rodal de referencia del bosque mixto se inició en el año en que se estableció el pino oregón debajo del latizal de roble, que entonces tenía 34 años. En este momento se tomó la decisión de efectuar una inversión en el rodal a través de su enriquecimiento. En la actualidad dicho rodal tiene 60 años. Si bien se conoce el número de árboles actual, se ignora su densidad a los 34 años. La información disponible es el relato del propietario, que indica que empezó a mezclar los robledales más deficientes primero, es decir los con muy baja densidad, y que en el predio también hay rodales con densidad normal que fueron enriquecidos. Por eso se optó por trabajar con 2 escenarios: uno parte con una densidad muy baja a la edad de 36 años (escenario 1) y el otro con una densidad normal que se asemeja a la línea de cierre de copas del Diagrama Manejo de Densidad (DMD) de INFOR (Müller-Using *et al.* 2012) para la especie roble.

Los DMD son modelos estáticos de las existencias en biomasa en los que se representa gráficamente la relación entre producción (volumen, área basal), densidad y mortalidad a través de los distintos estados de desarrollo. Son independientes de la edad y de la calidad de sitio. En caso del presente estudio, donde el factor tiempo tiene relevancia, este se incorpora a través de información adicional sobre la tasa de crecimiento medio del rodal. De esta manera, es posible proyectar la relación de tamaño-densidad del

rodal que se mantiene en la línea de cierre de copas (Línea B) del diagrama de Gingrich a distantes edades. Dentro de este diagrama y de acuerdo a la suposición de un raleo fuerte precedente, en nuestro estudio se considera una densidad al nivel de la línea B que representa la densidad inferior de la ocupación completa del sitio.

Siguiendo este supuesto, se usaron dos diferentes tasas de mortalidad entre las edades 34 y 60 años:

En el escenario 1, donde ya en el estado de desarrollo de latizal la densidad era muy baja, tendiente a individuos solitarios, se trabajó con una mortalidad de 0,5 árboles/ha-año (Bahamondez, 1992 modificado por Müller-Using *et al.*, 2020).

En el escenario 2, se supone que entre 36 y 47 años de edad, el número de árboles está representado por la línea de cierre de copa del Diagrama de Manejo de Densidad. Sin embargo, habiéndose formado un latizal bajo y denso de pino oregón en el estrato de sotobosque después del primer decenio de crecimiento, esta masa vegetal podría ejercer competencia por agua y/o nutrientes que aumentaría la mortalidad del roble por el lado de los árboles dominados y, más tarde, de los intermedios. Esto a tal punto, que con 60 años el renoval alcanzaría la densidad verdadera del referencial por debajo del 10% de densidad relativa, según el diagrama de manejo de densidad utilizado.

A partir de los 60 años la trayectoria del escenario 1 y 2 se juntan y la proyección de su futuro desarrollo es el mismo. Aquí el supuesto es de dos raleos en el pino oregón, que mantendrían la futura mortalidad en el fustal viejo del roble nuevamente a un muy bajo nivel de 0,5 árboles/ha-año.

En el mismo lapso la densidad del roble puro sigue los patrones del mencionado Diagrama de Manejo de Densidad (DMD).

- *Crecimiento*

Tratándose en todos los escenarios de robledales en sitios ricos, pero bastante ralos y correspondientes a la fase entre renovales adultos y fustales, se trabajó con el IMA (incremento medio anual) del rodal de referencia, es decir con 3,5 mm de incremento radial tanto en la reconstrucción como en la proyección.

El incremento en altura se diferenció por edad, considerando un IPA (incremento periódico anual) de 50 cm/año para los rodales de 36 a 60 años y de 30 cm/año después de ese intervalo.

- *Factor de Forma y Ahusamiento Fustal*

En trabajos previos a este estudio se ha experimentado un factor de forma de 0,474 en la zona de mejor crecimiento de los robles (Müller-Using B., sin publicar). Según ese factor la reducción diamétrica es de 1,5 cm por m corriente.

- *Clasificación en Productos*

Se usó trozos de 3,6 m de largo, como es usual en el comercio de madera rolliza en Chile. El diámetro límite en la punta del trozo se determinó en 32 cm s.c. Se calculó hasta 3 trozos por árbol según su DAP, ya que sobre el tercer trozo normalmente no se pueden esperar cualidades aptas para el aserrío. El resto del volumen hasta un diámetro de 7 cm se clasificó como leña.

- *Precios y Medidas Comerciales*

De acuerdo con datos de la empresa Forestal Rio Pitildeo se usó los siguientes precios para la madera de roble en pie: 4.000 \$/pulgada para los dos primeros trozos de aserrío, 2.800 \$/pulgada para el tercer trozo, y 18.000 \$/m<sup>3</sup> para la leña. La conversión entre pulgadas y metros cúbicos es de 20,5"/m<sup>3</sup>.

- *Representatividad Valor por Árbol versus Valor por Hectárea.*

Debido a la baja competencia intraespecífica entre los ejemplares de roble, y por lo mismo, a la escasa inhibición del crecimiento de estos árboles, no se observó una diferenciación importante en el tamaño de los individuos de esta especie. En tales condiciones se puede utilizar la estimación del valor del árbol medio como representante para realizar la expansión a la hectárea.

- *Determinación de la Rentabilidad*

Basado en los parámetros presentados, es posible calcular el aumento en valor del componente roble además de la tasa de retorno de la inversión de la plantación suplementaria de pino oregón y realizar una comparación con la opción “roble puro” usando la expresión (1) (Oesten y Roeder, 2008).

$$p = 100 \cdot \left( \sqrt[n]{\frac{K_n}{K_0}} - 1 \right) \quad (1)$$

Donde:

P = tasa de retorno entre un capital invertido al año 0 y al final del tiempo considerado  
K<sub>0</sub> = Capital invertido al inicio (año 0);  
K<sub>n</sub> = Capital al final;  
N = Número de años entre K<sub>0</sub> y K<sub>n</sub>

### **Supuestos y Parámetros para Reconstruir y Proyectar el Crecimiento en Valor del Componente Pino Oregón**

- *Establecimiento de la Plantación de Enriquecimiento (Pino Oregón).*

A la edad de 34 años se estableció bajo el robledal de referencia, plantas de pino oregón a razón de 700 pl/ha. Para ello fue necesario efectuar un desmalezado intensivo en el mismo año del establecimiento, usando una pequeña retroexcavadora a un costo de 600.000 \$/ha. Plantas y plantación se evalúan en 420.000 \$/ha. Se efectuó también una primera limpia en el año siguiente de la plantación, evaluada en 300.000 \$/ha y una segunda limpia de 300.000 \$/ha, dos años después del establecimiento. Ambas faenas fueron necesarias para controlar la alta presión ejercida por la quila.

- *Raleos*

El modelo de manejo considera un primer raleo por lo bajo a la edad de 26 años, cuando la plantación de pino oregón alcanza el estado de latizal, debajo del fustal de roble que en ese momento tiene 60 años.

Considerando que se dispone de los valores reales de diámetro y altura del rodal (Cuadro 1), los que muestran una alta variabilidad en los diámetros de pino oregón, se realizó el ejercicio de determinar árbol por árbol su permanencia o extracción, extrayendo los individuos de menor diámetro y tamaño hasta alcanzar el 30% del número de árboles. A los árboles remanentes se les atribuyó un incremento diamétrico de 0,86 cm/año hasta llegar a la edad de 36 años, edad en que se considera un segundo raleo para el caso que se extendiera la rotación de pino oregón por otros 10 años (46 años). El incremento diamétrico anual se derivó del crecimiento radial de los últimos 5 años (21 a 26 años), estimado con tarugos extraídos del mismo rodal (Müller-Using *et al.*, 2022). Para el desarrollo en altura, se trabajó con un incremento anual de 59 cm, derivado del largo de las tres últimas flechas medidas en tres árboles volteados para este fin en el mismo estudio anterior. Con eso se proyectó el rodal a 10 años y nuevamente se determinó el 30% de los árboles más pequeños para su eliminación, simulando de esta manera el segundo raleo. Este procedimiento resultó más acertado que trabajar con la proyección del árbol medio, ya que estos últimos respecto a su contenido en productos son muy influenciados por la gran cantidad de árboles pequeños presentes en el rodal (cuadro 1). De esta manera se pierden los saltos de valor que existen entre los productos de los árboles de mayores diámetros, lo que conduce a una subestimación del valor real de los árboles remanentes. En relación al área basal, el primer raleo

significó una reducción del 24% y el segundo raleo un 35%, ambos dirigidos al estrato intermedio y codominante de los respectivos rodales modelo.

- *Corta Final*

Se consideró dos edades para la cosecha final: (i) Cosecha a los 36 años, donde no se consideró el segundo raleo y se determinó el volumen de cosecha agregando 10 años de crecimiento en diámetro y altura a la masa de los árboles después del primer raleo; (ii) Cosecha a los 46 años, donde se consideró el mismo crecimiento para los árboles remanentes después del segundo raleo.

- *Productos y Precios*

Para simular el trozado de los árboles a cosechar se usó el modelo desarrollado por Basualto, alrededor del año 2000, el cual ha mostrado buen acierto en la práctica.

Los precios de la madera de pino oregón se entienden al contado y se basan en la estadística de la empresa Forestal Rio Pitaldeo, que tiene una larga trayectoria de compra-venta de madera entre las regiones de la Araucanía a Los Lagos (cuadro 2):

**Cuadro 2.** Precios en pie para los productos de pino oregón.

Producto	Largo (m)	Precio		Diámetro (cm)
		(\$/m <sup>3</sup> )	(\$/mr*)	
Madera aserrable	7,0	106.690		
	6,0	88.260		
	5,0	77.610		
	4,0	69.600		
	3,2	66.110		28
	3,2	62.990		26
	3,2	61.560		24
	3,2	58.690		22
	3,2	55.450		20
	3,2	50.774		18
Polines aserrable	2,5		28.000	
Polines no aserrable	2,5		6.000	

\*mr: metro ruma

Para estimar los costos que genera el establecimiento de pino oregón se consideró las actividades que se detallan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Costos de las actividades de establecimiento del componente pino oregón y tasa de descuento de las tres alternativas de manejo consideradas.

Ítem	Valor CP
Control de maleza pre establecimiento	600.000
Plantación de 700 plantas	420.000
Control de maleza (año 1)	300.000
Control de maleza (año 2)	300.000
Tasa de descuento	4%

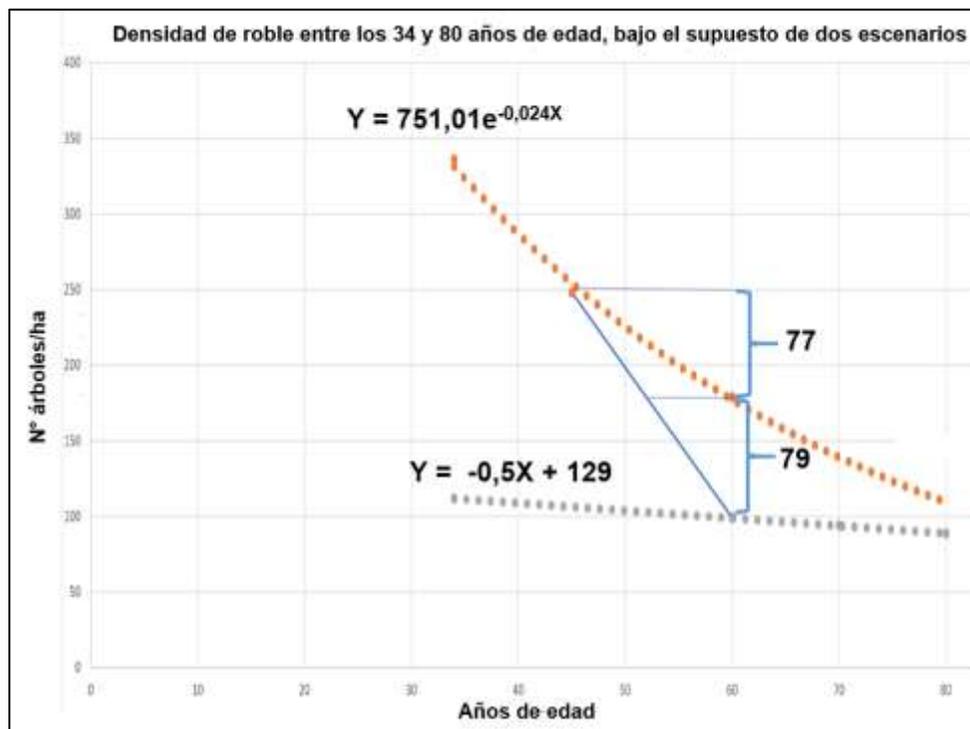
## RESULTADOS

### Análisis Económico del Bosque Mixto Roble-Pino Oregón y del Roble Puro

- *Desarrollo en Valor del Componente Roble*

En el escenario 1 se asume que el robleal de referencia tenía muy baja densidad al momento de enriquecerlo con pino oregón, ya sea por un proceso de instalación deficiente o por un raleo extremadamente fuerte antes de realizar la plantación. En el escenario 2 se considera que la baja densidad del roble es efecto de la competencia ejercida por el pino oregón entre las edades de 45 y 60 años.

En la Figura 2 se muestran las supuestas curvas de densidad de estos dos escenarios, desde el momento del enriquecimiento hasta la cosecha, pasando por el punto común a los 60 años, el cual corresponde al rodal medido en este estudio. Como referencia se agrega la curva de cierre de copas (curva B) del Diagrama de Manejo de Densidad de Gingrich (Müller-Using *et al.* 2012).



**Figura 2.** Evolución de la densidad de roble a partir de los 34 años. Escenario 1 representado por la línea gris. Escenario 2 representado por la línea naranja en el intervalo 35-45 años, por la línea azul en el intervalo 45-60 años y por la línea gris desde los 60 años en adelante. La curva naranja entre los 34 y 80 años corresponde a la densidad de roble puro según Diagrama de Manejo de Densidad, línea B.

De la Figura 2 se desprende que según el modelo del escenario 2 y en comparación con el modelo de roble puro, a partir de los 45 años de edad el número de árboles decae con mayor velocidad, debido al supuesto de la competencia ejercida por el estrato de pino oregón. Mientras la mortalidad en el bosque de roble puro equivale a 77 árboles, entre las edades 45 y 60, en el escenario 2 la disminución es de 156 árboles, o sea existiría una diferencia de 79 árboles en el mismo lapso de tiempo. Al llegar el rodal a 60 años, el número de árboles no sigue disminuyendo, ya que en ese momento la competencia disminuye como consecuencia de los dos raleos consecutivos a realizarse en el estrato de pino oregón,

específicamente a las edades de 26 y 36 años. En el Cuadro 4 se presentan en forma numérica las distintas densidades de los modelos.

**Cuadro 4.** Densidad de roble en número de árboles por hectárea, a distintas edades, en dos escenarios de bosque mixto y uno de bosque puro, según Diagrama de Manejo de Densidad.

Escenario	Edad de roble en años				
	34	45	60	70	80
Bosque mixto 1	112	106	99	94	89
Bosque mixto 2	336	255	99	94	89
Roble puro	336	255	178	140	110

El volumen estimado a partir del árbol medio del rodal de referencia (roble, 60 años) se presenta en el Cuadro 5. Se complementa esta información con la proporción de productos esperados y el valor del producto en m<sup>3</sup> y por hectárea. En Cuadro 6 se encuentran los valores esperados en un rodal que sigue la línea de cierre de copa del Diagrama de Densidad de Gingrich para roble (Müller-Using *et al.*, 2012).

**Cuadro 5.** Volumen de los árboles medio de roble que representan las diferentes edades en el estudio, su desglose en productos y su transformación en valores por hectárea.

Edad (Años)	Escenario	Volúmenes		Valor por árbol (\$)	Densidad (N° arb)	Valor por hectárea (\$)
		Árbol (m <sup>3</sup> cc)	Productos (m <sup>3</sup> )			
34	1	0,60	0,60 leña	18.000	112	2.016.000
34	2	0,55	0,55 leña	16.500	336	5.544.000
45	1	1,11	0,80 leña 0,31 trozos	38.606	106	4.092.236
45	2	1,08	0,76 leña 0,30 trozos	38.200	255	9.741.000
60	único	2,21	1,00 leña 1,21 trozos	113.262	99	11.212.938
70	único	3,19	1,64 leña 1,55 trozos	160.000	94	25.040.000
80	único	4,29	1,90 leña 2,39 trozos	234.940	89	20.909.660

**Cuadro 6.** Volumen de los árboles medio de roble en un rodal tipo que sigue la línea de cierre de copa (línea B) del Diagrama de Densidad de Gingrich.

Edad (Años)	Volúmenes		Valor por árbol (\$)	Densidad (N° arb)	Valor por hectárea (\$)
	árbol (m <sup>3</sup> cc)	Productos (m <sup>3</sup> )			
34	0,55	100% leña	16.500	336	5.544.000
60	2,21	1,00 leña 1,21 trozos	113.262	178	20.160.636
70	3,19	1,64 leña 1,55 trozos	160.000	140	22.400.000
80	4,29	1,90 leña 2,39 trozos	234.940	110	25.843.400

En el caso específico del rodal de referencia (Parcela 3, Fundo El Brasil), el modelo del escenario 1 determina 112 árboles/ha de roble a la edad de 34 años, lo que equivale a un valor en pie de

\$2.016.000/ha; a los 60 años la densidad decrece a 99 árboles/ha, con un valor en pie de \$11.213.000/ha.

El modelo del escenario 2 cuenta con 336 árboles de roble a la edad de 34 años, lo que equivale a un valor en pie de \$5.544.000/ha. Esta densidad disminuye a 99 árboles/ha hasta la edad de 60 años, equivalente a un valor en pie de los robles de \$11.213.000/ha.

El ficticio robleal puro, siguiendo la línea B del Diagrama de Densidad, representa un valor en pie de \$5.544.000 a la edad de 34 años, incrementándose a \$ 20.160.636 al alcanzar la edad de 60 años.

- *Desarrollo en Valor del Componente Pino Oregón*

El Cuadro 7 presenta los volúmenes, valores promedio según el desglose en productos y los ingresos por hectárea que genera el componente pino oregón en tres alternativas de manejo:

- Alternativa 1: Cosecha a la edad de 60/26 años (roble/pino)
- Alternativa 2: Raleo de pino oregón a la edad 26 años y cosecha a los 70/36 años (roble/pino)
- Alternativa 3. Raleos de pino oregón a las edades de 26 y 36 años, y cosecha a los 80/46 años (roble/pino).

**Cuadro 7.** Volúmenes cosechables, valor promedio por metro cúbico extraído y valor en pie por hectárea del estrato de pino oregón.

Alternativa de manejo	Ítem	Edad (años)	Densidad residual (N° arb)	Volumen Residual (m³)	Volumen de Corta (m³)	Valor	
						(\$/m³)	(\$/ha)
Alternativa 1	Cosecha	26	0	0	112	39.243	4.395.261
Alternativa 2	Raleo	26	486	90	22	21.771	471.999
	Cosecha	36	0	0	277	64.221	17.816.696
Alternativa 3	Raleo	26	486	90	22	21.771	471.999
	Raleo	36	334	195	83	63.048	5.215.326
	Cosecha	46	0	0	429	84.119	36.103.366

En base a los costos y beneficios se realiza un cálculo de rentabilidad de la inversión, al inicio y los 2 siguientes años después del establecimiento (controles de maleza). Los resultados de este análisis, separados por alternativa de manejo, se entregan en el Cuadro 8.

- *Desarrollo en Valor del Rodal Mixto en Dos Escenarios en Comparación con el Modelo Roble Puro.*

En el cuadro 9 se muestran los valores para el bosque mixto en sus dos escenarios, partiendo a las edades de 34/0 años (roble/pino), pasando por 60/26, 70/36 y 80/46 años (roble/pino). Los valores de este cuadro se consiguen al combinar las cifras del Cuadro 3 (roble) con los de Cuadro 8 (pino oregón). Se presentan también los valores correspondientes al modelo roble puro, a las edades de 34, 60, 70 y 80 años.

Se puede apreciar que el bosque mixto del escenario 1 empieza con un valor muy bajo, ya que, al valor del rodal de roble es bajo por el reducido número de árboles que caracteriza a este escenario, y además se le resta el costo de la plantación suplementaria de pino oregón. El bosque mixto del escenario 2 inicialmente funciona con el mismo número de árboles que el rodal puro de roble, pero se le descuenta el costo de la plantación suplementaria de pino oregón.

El Cuadro 10 muestra como los valores de este cuadro se traducen en las respectivas tasas de retorno (TIR).

**Cuadro 8.** Valores por hectárea de tres alternativas de manejo del componente pino oregón en un bosque mixto de *Nothofagus obliqua* y *Pseudotsuga menziesii*.

Alternativa de manejo	Ítem	Año de Ejecución	Monto (\$)	Actualización (años)	Tasa de descuento (%)	Monto actualizado (\$)	TIR (%)
Alternativa 1	Establecimiento	0	-1.020.000	26	4	-2.827.440	
	Control maleza (1)	1	-300.000	25	4	-799.800	
	Control maleza (2)	2	-300.000	24	4	-768.900	
	Ingreso por cosecha	26				4.395.261	
	<b>Flujo neto</b>					<b>-879</b>	
Alternativa 2	Establecimiento	0	-1.020.000	36	4	-4.186.011	7,2
	Control maleza (1)	1	-300.000	35	4	-1.183.000	
	Control maleza (2)	2	-300.000	34	4	-1.138.295	
	Ingreso por raleo (1)	26	471.999	10	4	698.674	
	Ingreso por cosecha	36	17.816.696	-		17.816.696	
<b>Flujo neto</b>					<b>12.007.237</b>		
Alternativa 3	Establecimiento	0	-1.020.000	46	4	-6.196.319	7,8
	Control maleza (1)	1	-300.000	45	4	-1.752.353	
	Control maleza (2)	2	-300.000	44	4	-1.684.955	
	Ingreso por raleo (1)	26	471.999	20	4	1.034.208	
	Ingreso por cosecha	46	36.103.366	-		36.103.366	
<b>Flujo neto</b>					<b>35.223.904</b>		

**Cuadro 9.** Valores redondeados en pesos chileno para el bosque puro de roble y para dos escenarios de bosque mixto roble-pino oregón.

Bosque	Escenario	Edad Roble/Edad Pino (años)			
		34/0	60/26	70/36	80/46
Mixto (roble y pino oregón)	1	430.000	10.604.000	27.047.000	56.132.000
	2	3.958.000	10.604.000	27.047.000	56.132.000
Puro (Roble)	-	5.544.000	20.161.000	22.400.000	25.843.000

**Cuadro 10.** Tasas internas de retorno (TIR) de los dos escenarios, calculadas para las edades 60/26; 70/36 y 80/46 roble/pino oregón, respectivamente y roble puro.

Escenarios	C <sub>0</sub>	C <sub>F</sub>	Años de Producción Roble/Pino	TIR (%)
Bosque mixto (Escenario 1)	430.000	10.604.000	60/26	<b>13,1</b>
	430.000	27.047.000	70/36	<b>12,2</b>
	430.000	56.132.000	80/46	<b>11,2</b>
Bosque mixto (Escenario 2)	3.958.000	10.604.000	60/26	<b>3,9</b>
	3.958.000	27.047.000	70/36	<b>5,5</b>
	3.958.000	56.132.000	80/46	<b>5,9</b>
Roble Puro	5.544.000	20.161.000	60	<b>5,1</b>
	5.544.000	22.400.000	70	<b>4</b>
	5.544.000	25.843.000	80	<b>3,4</b>

C<sub>0</sub> = Capital al inicio del tiempo observado; C<sub>F</sub> = Capital al final del tiempo observado

Los mayores valores de la TIR se alcanzan al enriquecer latizales que tienen una baja densidad inicial (escenario 1). En el escenario 2 la TIR más alta se alcanza dejando crecer el bosque mixto hasta la edad de 80/46 años (roble/pino), donde logra un 5,9%, mientras que, en el rodal de roble puro a la misma edad de 80 años, llega solamente a 3,4%. El roble puro alcanza su mayor TIR en una rotación de 60 años (DAP 46 cm), lo que coincide con el estudio económico sobre la definición del diámetro meta en renovales de Roble desarrollado por Müller-Using *et al.* (2021). A esta edad un bosque de roble de densidad satisfactoria y con estrato inferior de pino oregón muy joven (caso del escenario 2; roble 60

años / pino oregón 25 años) aún no alcanza desplegar su superioridad versus un robleal puro, debido a que la conífera tiene apenas dimensiones de latizal.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Desarrollo Económico de los Dos Componentes Roble y Pino Oregón en el Bosque Mixto

En Chile no existen estudios que documenten la convivencia de roble y pino oregón, partiendo en condiciones iguales de densidad y tratados con la misma técnica silvícola hasta la corta final, a una edad económicamente razonable. Sin embargo, la situación encontrada en el área de estudio permitió analizar un rodal y tomarlo de referencia para modelar el desarrollo, tanto 26 años hacia atrás, como 20 años hacia adelante. Como no se podía reconstruir con certeza el estado inicial del rodal al momento de establecer la mezcla, a la edad de 34 años, se recurrió a dos escenarios alternativos. El más probable es que el rodal en ese momento ya se encontrara ralo, parecido a la densidad actual, de solo 99 árboles/ha. Este supuesto se deduce del relato del propietario, quien hace 26 años inició su programa de enriquecimiento con los rodales de roble más deficientes. Por el otro lado se encontraron algunos casos en el predio donde se había aplicado el mismo programa silvícola en rodales con densidades mucho más altas y donde se espera una fuerte competencia intra e interespecífica. Esta situación se considera en el escenario 2. Aquí el supuesto es que el roble comienza a disminuir su densidad debido a la competencia a la edad de 45 años, abandonando la dinámica descrita por el diagrama de densidad para bosques puros de roble. Este segundo escenario se considera menos probable y posee un mayor grado de arbitrariedad. Sin embargo, con los dos escenarios se enmarcan las distintas posibilidades extremas de desarrollo en densidad del rodal. Se estimó necesario incluir el supuesto de una creciente competencia entre las dos especies y que merme el efecto aditivo, como está documentado en varios casos de bosques mixtos con pares de especies de crecimiento distinto (Pretzsch & Schütze, 2009). Estos autores analizaron 37 ensayos europeos con mezclas de picea (*Picea abies*) y haya (*Fagus sylvatica*), encontrando que en un 67% de los casos la mezcla llevó a una productividad superior a por lo menos una de las especies en estado puro, y que en un 57% fue superior a la productividad de ambas especies involucradas en rodales puros, fenómeno llamado “*transgressive over yielding*”.

En Chile también se han publicado estudios sobre la productividad de bosques mixtos de especies nativas, por ejemplo, compuestos por un estrato superior de especies del género *Nothofagus* y diversas especies siempre verdes de alta tolerancia a la sombra (Lusk & Ortega, 2003). En el estudio mencionado se encontró un mayor nivel productivo en estos bosques mixtos de dos estratos que en bosques monoestratificados. La diferencia fue más evidente mientras más denso fuera el estrato de las especies siempre verdes del estrato inferior. Adicionalmente, no se encontró que el estrato superior hubiera sufrido de la competencia del estrato inferior. Más diferenciados fueron los resultados de un estudio de Donoso & Lusk (2007) en el bosque de montaña del tipo Coigüe-Raulí-Tepa. Aquí sí se observó una disminución de crecimiento en la especie mañío (*Saxegothaea conspicua*) en el estrato inferior, al aumentar la densidad de las copas de coigüe (*Nothofagus dombeyi*) en el estrato dominante. Además, tepa (*Laureliopsis philippiana*), especie acompañante en el estrato inferior, no evidenció merma en su crecimiento, independientemente de la densidad del estrato superior de los coigües. De ello los autores concluyen que mientras más diferente sea la tolerancia a la sombra de las especies de un bosque mixto, mayor es el crecimiento aditivo de su conjunto.

En bosques mixtos de roble y pino oregón se combinan especies muy distintas en su crecimiento, pero no tanto en su tolerancia a la sombra. Roble, considerado como intolerante, apenas alcanza un incremento medio anual de 12 m<sup>3</sup>/ha año a una edad de rotación de 60 años (Donoso *et al.* 1993), mientras que pino oregón, considerado como semitolerante, en el mismo periodo llega a 28 m<sup>3</sup>/ha año (Büchner *et al.*, 2019). Estas condiciones llevan a que la aditividad de la mezcla sea unilateral, es decir que favorece al roble en relación a su estado puro y, por el contrario, reduce el nivel de productividad del pino oregón respecto también de su estado puro. La misma situación ha sido observada para mezclas de raulí (*Nothofagus alpina*) con pino oregón. En Europa existen experiencias semejantes para la mezcla de *Pinus sylvestris* (crecimiento lento, intolerante a la sombra) y *Pseudotsuga menziesii* (crecimiento rápido,

semitolerante a la sombra) (Baade & Guericke, 2000) o *Betula pendula* (intolerante) y *Picea excelsa* (semitolerante) (Valkonen y Valsta, 2001).

En el presente trabajo se encontró un alto efecto financiero generado por el enriquecimiento con pino oregón de renovales de roble de calidad deficiente. La ventaja observada excede a las publicadas en la literatura sobre bosque mixtos en Europa (Pretzsch & Schütze 2009). Esto se debe en parte a los factores edáficos y climáticos, que hacen que el centro-sur de Chile supere las condiciones de crecimiento para bosques templados encontradas en Europa central. Obedece también al uso de una especie introducida, como el pino oregón, que es de rápido crecimiento y con características semitolerantes.

La primera hipótesis de este trabajo, referida a la posibilidad de desarrollar, a partir de datos empíricos, un modelo que permita proyectar el desarrollo en valor de un bosque mixto de roble y pino oregón, sólo se cumple parcialmente. Faltaron datos para el rodal de roble a la edad de establecimiento del pino oregón, por lo cual se tuvo que asumir escenarios de trabajo. De esta manera, se entrega un rango que se espera incluya a la rentabilidad real, y se deja en evidencia que el éxito económico de la mezcla estudiada depende fuertemente del grado de degradación del rodal inicial.

Se muestra que la rentabilidad de la mezcla roble/pino oregón supera la de un bosque puro de roble (hipótesis dos), puesto que incluso en el caso de un bosque sin degradación, la rentabilidad de su enriquecimiento lleva a una tasa de retorno superior (5,9%) a la calculada para el bosque puro (3,4%), para la misma edad de cosecha.

Sin embargo, se plantea en la hipótesis tres que, al establecer la mezcla a una edad del roble mayor a 34 años, se debe alargar la rotación para permitir que pino oregón alcance diámetros comerciales. Los resultados del estudio muestran que esto solo es válido en caso de robledales no degradados, donde la competencia entre las especies es fuerte, y donde la mezcla muestra su máxima TIR a la avanzada edad de 80 años. En este caso, con una rotación de 60 años, la TIR baja a 3,9% debido a la falta de desarrollo del pino oregón. De esta manera la rentabilidad es menor que la de un rodal puro de roble en estado intacto.

Distinta es la situación en bosques degradados de roble. Ahí las TIR de la mezcla muestran una alta superioridad al compararlas con las del bosque puro. Como consecuencia, se recomienda el enriquecimiento con pino oregón solo para robledales degradados (de muy baja densidad). Si se quisiera realizar en robledales intactos, sería recomendable ejecutar el establecimiento de la conífera temprano, antes de la edad de 34 años, a objeto de que pino oregón alcance dimensiones comerciales a los 60 años de la edad del roble, lo que es el óptimo en términos de rentabilidad.

En el bosque mixto, si bien el efecto es unilateral en términos del crecimiento aditivo, favoreciendo a roble, el pino oregón también recibe un efecto positivo, en este caso sobre la calidad de su madera (Müller-Using *et al.*, 2022). Existen además otras ventajas del bosque mixto Grosse & Müller-Using (2008), las que aplicadas al presente estudio serían la supresión de la maleza (*Chusquea quila*) y la protección de los fustes del roble contra ataques de insectos, como el perforador de la madera y causante de las gusaneras en roble, *Holopterus chilensis* (Coleoptera; cerambycidae).

Sobre la disminución de riesgos financieros que pueden brindar mezclas de especies forestales en comparación con monocultivos existe una amplia literatura internacional, como fue resumida por Knoke & Hahn (2007).

## REFERENCIAS

- Baade, U. & Guericke, M. (2000). Auswertung einer Douglasien-Wuchsreihe im Wuchsgebiet Geest Mitte. Tagungsband des Nordwestdeutschen Forstvereins 2000 in Kirchatten. Alemania.
- Bahamondez, C. (1992). Investigación sobre un modelo de simulación para renovales de roble-raulí. Proceedings IUFRO, Congreso Valdivia.

- Büchner, C., Martín, M., Sagardía, R., Rojas, Y., Bahamondez, C. Guzman, F., Barrientos, M. *et al.* (2019). Disponibilidad de madera en plantaciones de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Regiones Araucanía, Los Ríos, Los Lagos 2019 – 2049. Instituto Forestal. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/30351>
- Donoso, P., Monfil, T. Otero, L & Barrales, L. (1993). Estudio de crecimiento de plantaciones y renovales manejados de especies nativas en el área andina de las Provincias de Cautín y Valdivia. Ciencia & Investigación Forestal, 7(2): 253-287. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1993.188>
- Donoso, P.J., & Lusk, C.H. (2007). Differential effects of emergent *Nothofagus dombeyi* on growth and basal area of canopy species in an old-growth temperate rainforest. Journal of Vegetation Science, 18(5): 675-684. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02581.x>
- Grosse, H. & Müller-Using, B. (2008). Mezclas coetáneas de especies del género *Nothofagus* y pino oregón. En: Bosques seminaturales, una opción para la rehabilitación de bosques degradados. INFOR/Gobierno de Chile/Innova. Valdivia. Pp: 67-88.
- Hartwig, F. (1994). La tierra que recuperamos. Editorial Los Andes. Santiago. 256 p.
- Knoke, Th. & Hahn, A. (2007). Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: ein Forschungseinblick und –ausblick. Schweiz Z Forstwes, N°158. Pp: 312-322. <https://doi.org/10.3188/szf.2007.0312>
- Lusk, C.H., & Ortega, A. (2003). Vertical structure and basal area development in second-growth *Nothofagus* stands in Chile. Journal of Applied Ecology, 40(4): 639-645. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00827.x>
- Müller-Using, B., Petersen, R. & Müller-Using, S. (2022). Evaluación silvícola de bosques seminaturales de Roble y Pino Oregón: Estudio de caso en una empresa agrícola-forestal de mediana propiedad en el Centro-Sur de Chile. Ciencia & Investigación Forestal, 28(2): 33–45. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.563>
- Müller-Using, B., Uhde, B., Varas, A., Cabrera, J., Cuevas, W. & González, D. (2016). The mixture of *Nothofagus* species with *Pseudotsuga menziesii* in South Central Chile. Forstarchiv, 87(6): 175-181.
- Müller-Using, B. Tiemann, M., Donoso P. & Wolf, B. (2020). Crecimiento, desarrollo cualitativo y retorno financiero de una forestación con Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst) al pie de monte andino del Centro Sur de Chile. Ciencias & Investigación Forestal, 26(1): 67-82. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.527>
- Müller-Using, S., Martín M. & Merino, R. (2012). El diagrama de densidad de Gingrich como herramienta para la planificación de raleos en renovales del tipo roble-raulí-coigüe. INFOR. Documento de Divulgación N° 39. Santiago. 15 p.
- Müller-Using, S., Rojas Ponce, Y. & Martín Stuken, M. (2021). Una propuesta para la definición de un diámetro meta para los renovales de roble (*Nothofagus obliqua*). Ciencia & Investigación Forestal, 27(3): 49-61. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.553>
- Mujica, R., Grosse, H. & Müller-Using, B. (Eds). (2008). Bosques seminaturales, una opción para la rehabilitación de bosques degradados. INFOR, Gobierno de Chile, Innova/Corfo, ISBN 978-956-318-012-01. Valdivia, 165 p.
- Oesten, G. & Roeder, A. (2008). Management von Forstbetrieben. Band 1 Grundlagen, Betriebspolitik. 408 p.
- Peters, K. (1938). Estudio Experimental sobre Selvicultura en Chile. Imprenta Nacimiento. Santiago. Chile.
- Pretzsch, H., Bielak, K., Block, J., Bruchwald, A., Dieler, J., Ehrhart, HP., Kohnle, U. *et al.* (2013). Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (Matt) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. European Journal of Forest Research, N° 132. Pp : 263–280. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0673-y>
- Pretzsch, H. & Schütze, G. (2009). Transgressive overyielding in mixed compared to pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. European Journal of Forest Research, N° 128. Pp: 183-204. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0215-9>
- Prodan, M. (1965). Holzmesslehre. Editorial Sauerländer's. Frankfurt. 323 pp.
- Valkonen, S., & Valsta, L. (2001). Productivity and economics of mixed two-storied spruce and birch stands in Southern Finland simulated with empirical models. Forest Ecology and Management, 140(2-3): 133-149. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00321-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00321-2)



---

ARTÍCULO

## **Caracterización y uso de biocombustibles elaborados con fines domésticos a partir de residuos forestales de *Pinus ponderosa* en Bariloche, Argentina.**

Leonardo Andreassi<sup>1</sup>, Guillermo Douat<sup>2\*</sup>, Fernando Salvare<sup>3</sup> & Agustín Capitanich<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ing. Mecánico. CIEFAP. Bariloche, Argentina.

<sup>2</sup> Ing. Ambiental. CIEFAP. Asistente técnico. Bariloche, Argentina. [gdouat@ciefap.org.ar](mailto:gdouat@ciefap.org.ar)

<sup>3</sup> Ing. Agrónomo. Bariloche, Argentina. CIEFAP & Dir. De Bosques de Río Negro. [fsalvare@ciefap.org.ar](mailto:fsalvare@ciefap.org.ar)

<sup>4</sup> Ing. Mecánico. Bariloche, Argentina. CIEFAP

\*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.571>

Recibido: 26.08.2022; Aceptado 18.11.2022

---

### RESUMEN

El incremento poblacional en Bariloche, Patagonia Argentina, ha provocado el desarrollo de barrios que aún no cuentan con todos los servicios básicos. El servicio más crítico, como consecuencia del clima extremo de la zona, es la distribución de gas natural por red, que es el recurso preferido para la calefacción doméstica. Por otra parte, existen grandes extensiones de recursos madereros que carecen de manejos silviculturales, que han desarrollado enfermedades fitosanitarias, y constituyen potenciales focos de incendios. En este contexto resulta de interés analizar la elaboración de biocombustibles a partir de los residuos forestales, y que resulten apropiados para ser utilizados en equipos de calefacción domésticos, con sistemas de combustión más eficientes y limpios que los tradicionales.

Para tal efecto se estudian los residuos de *Pinus ponderosa*, especie con alta presencia en la región (~1450 ha). Los residuos fueron categorizados en fuste, rama y follaje y sometidos a dos procesos de transformación para obtener biocombustibles sólidos (chipeo y pelletización). Tanto pellets, como chips fueron caracterizados bajo normas ISO 17225 en laboratorios de CIEFAP (Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico), y ensayados en equipos acordes a su morfología con el fin de estudiar la eficiencia de la combustión y las emisiones que estos vuelcan a la atmósfera.

**Palabras claves:** Bioenergía, biocombustible sólido, combustión, residuos forestales, emisiones.

### SUMMARY

The population growth in Bariloche, Patagonia, Argentina, has led to the development of neighborhoods that still do not have all the basic services. The most critical, because of the extreme climate of the area, is the distribution of natural gas through the network, which is the preferred resource for domestic heating. On the other hand, there are large areas of timber resources that lack silvicultural management, have developed phytosanitary diseases, and are potential sources of fires. In this context, it is of interest to analyze the elaboration of biofuels from forest residues, which are appropriate for use in domestic heating equipment, with more efficient and cleaner combustion systems than the traditional ones.

For this purpose, the residues of *Pinus ponderosa*, a species with a high presence in the region (~1450 ha), were studied. The residues were categorized into stem, branch and foliage and were subjected to two transformation processes to obtain solid biofuels (chipping and pelletization). Both pellets and chips were characterized under ISO 17225 standards in CIEFAP (Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico) laboratories, and tested in equipment according to their morphology in order to study combustion efficiency and emissions into the atmosphere.

**Keywords:** Bioenergy, solid biofuel, combustion, forest residues, emissions.

---

## INTRODUCCIÓN

El costo y las consecuencias ambientales del uso de combustibles fósiles incentivan la adopción de energías renovables. Entre estas últimas, la energía generada a partir de biomasa puede ser producida y consumida en un ámbito de carbono neutralidad (Uasuf & Hilbert, 2012.). A esto, se le suma la particularidad de que el 80% de la demanda energética en la Patagonia argentina corresponde a energía térmica (González, 2016) volviendo muy vulnerable esta situación.

En la provincia de Río Negro existen aproximadamente 6.000 hectáreas de coníferas implantadas, de las cuales 1.450 se encuentran en la cuenca de Arroyo del Medio, cercanas a San Carlos de Bariloche. La principal especie dentro de dichos cultivos es el *Pinus ponderosa*, alcanzando un 75% del total. Estas plantaciones se caracterizan por una elevada densidad de plantación (2.400 a 3.000 plantas por hectárea) lo que, sumado a la falta de un manejo forestal adecuado, ha generado la proliferación de enfermedades fitosanitarias (Diez *et. al.*, 2017). La revalorización en formato pellet y astillas de los residuos generados en el manejo forestal y en los aserraderos podría favorecer el desarrollo de las actividades de saneamiento y mejora de las forestaciones como también la producción y utilización de un combustible renovable de origen local para calefacción. A partir de la intervención realizada por Diez *et. al.* (2017) en 2 sitios con distintas estructuras forestales dentro de la cuenca de Arroyo del Medio, se estimó que es posible obtener 50 m<sup>3</sup>/ha de chips a partir de residuos secos de poda y raleo (ramas secas), sin contar chips producidos a partir de leña (50-180 m<sup>3</sup>/ha) y chips de residuos “verdes” de poda y raleo (140 m<sup>3</sup>/ha).

Los biocombustibles son generalmente más difíciles de quemar que los combustibles fósiles debido a la incompleta e intermitente combustión que ocurre en las estufas y pequeñas calderas. Como consecuencia, los gases de escape contienen una cantidad significativa de sustancias dañinas como el material particulado (MP) y los compuestos orgánicos parcialmente oxidados (Foppa Pedretti *et. al.*, 2010).

La transformación de la biomasa al formato pellets y astillas permite utilizar el recurso en forma automatizada en equipos de combustión domésticos; aumentando la eficiencia de su transformación en energía térmica útil, y reduciendo las emisiones respecto al uso tradicional de la biomasa. Para lograr este objetivo, además de la tecnología de combustión, se requiere de un combustible que cumpla parámetros de calidad, como baja humedad, y contenido de ceniza, delimitados en la normativa ISO 17225-2<sup>1</sup> e ISO 17225-4<sup>2</sup>.

En el presente documento se estudia la materia prima para la fabricación de pellets y astillas a partir de distintos tipos de residuos de *Pinus ponderosa* (Cuadro 1, Figura 1), evaluando las emisiones y la eficiencia de su combustión en una estufa estándar de 9 kW nominal para los pellets y una caldera de 50 kW nominal para las astillas. Su objetivo es analizar las características físico-químicas de los biocombustibles elaborados a partir de los residuos de plantaciones forestales cercanas a Bariloche, y estudiar el comportamiento de su combustión en equipos específicos para su uso, esperando que estos antecedentes sirvan como base para el desarrollo futuro de combustibles a partir de residuos biomásicos disponibles en la región, y de esta manera ofrecer una alternativa de gran potencialidad a la escasa oferta de recursos energéticos.

---

<sup>1</sup> International Organization for Standardization. Norma IRAM-ISO 17225-2. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2 - Clases de “pellets” de madera.

<sup>2</sup> International Organization for Standardization. Norma IRAM-ISO 17225-4. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 4 - Clases de “chips” de madera.

**Cuadro 1.** Descripción de la fuente utilizada para la producción de biocombustibles de ensayo

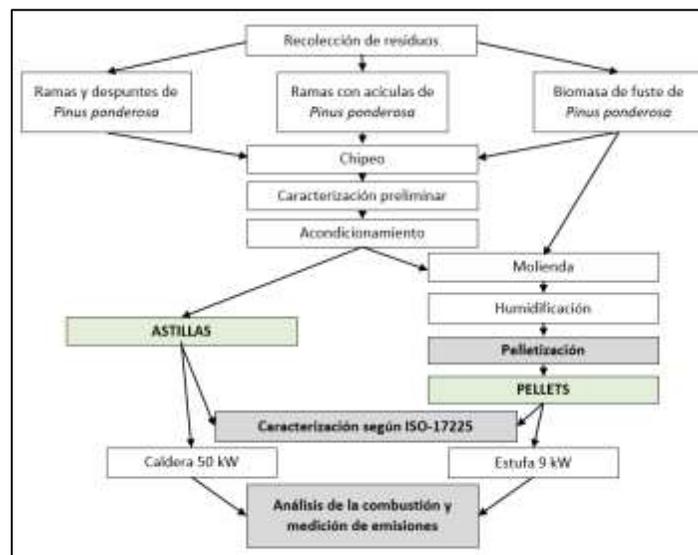
Fuente	Descripción	Denominación Combustible
1	Madera proveniente de fuste con nula o mínima presencia de corteza. Origen: provincia de Chubut	Pellet de fuste
2	Chipeo proveniente de fuste sin descortezar. Origen: provincia de Río Negro	Astilla de fuste
3	Ramas sin follaje con un diámetro entre 25mm y 100mm. Origen: provincia de Río Negro	Pellet de rama Astillas de rama
4	Ramas finas con gran contenido de acículas. Origen: provincia de Río Negro	Pellet de acícula Astillas de acícula



**Figura 1.** Fuentes para elaboración de biocombustibles: ramas sin follaje con diámetro entre 25 y 100 mm (fuente 3, izquierda). Ramas finas con gran contenido de acículas (Fuente 4, derecha)

## MATERIAL Y MÉTODO

En la figura 2 se muestra un diagrama de las tareas que se desarrollaron durante la elaboración de este trabajo.



**Figura 2.** Diagrama de las tareas desarrolladas durante el estudio.

La caracterización energética del pino ponderosa se realizó por medio de su separación morfológica en 3 fracciones: fuste, ramas y acículas. Si bien las mismas pueden aparecer agrupadas en el desarrollo de las actividades silviculturales, el análisis como fracción “pura” permite caracterizar los resultados con mayor precisión, los que por lo general suelen ser muy heterogéneo. Mediante este análisis segregado es posible estimar los resultados de una muestra general (mezcla de todos los componentes) a partir del estudio de las partes constituyentes. Esta información es fundamental para estimar el comportamiento de las mezclas, o definir qué selección realizar para obtener un biocombustible de mayor calidad.

### Producción de Astillas

La fabricación de astillas a partir de las fuentes indicadas en el Cuadro 1 requirió de un proceso de secado, y chipeo con un equipo Bearcat DH 911, adicionalmente para las fuentes 2 y 3 se requirió tamizar para obtener una granulometría P31s<sup>1</sup>. Por su parte, la fuente 4 no arrojó un tamaño de partícula definido con geometría tri o bidimensional, ya que durante el chipeo las acículas salen agrupadas o unidas formando un “ramillete” que no posee las características morfológicas de un chip bioenergético apto para ser quemado en sistemas de alimentación automático mediante tornillo sinfín. Sin embargo, estos pudieron ser dosificados en forma manual en el sistema de alimentación de la caldera (usos a tolva llena requerirán un chipeo estricto, en el cual un oreo previo puede mejorar el proceso).

### Producción de Pellets

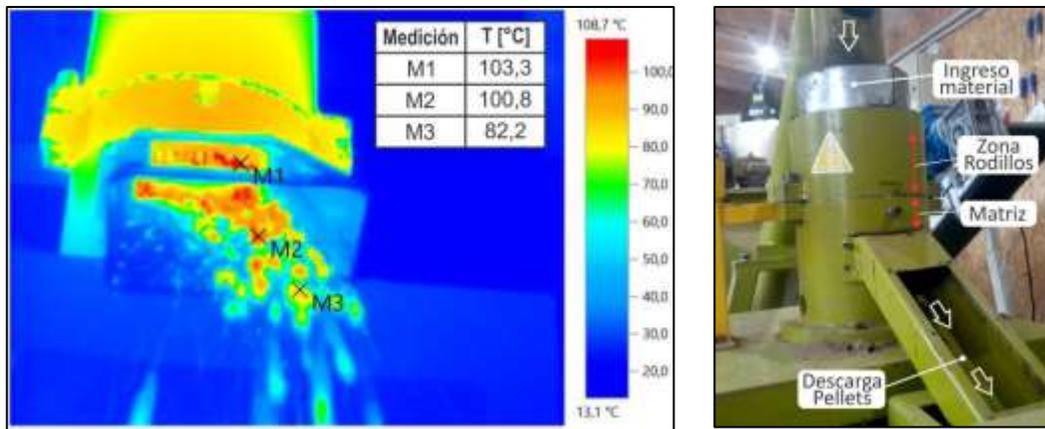
La fabricación del pellet requirió, en orden cronológico, los siguientes procesos: (i) chipeo de la materia prima; (ii) secado con aire caliente; (iii) molienda; (iv) humectación; (v) densificado (pelletizado); (vi) enfriado y tamizado de finos. Las operaciones fueron realizadas en la planta de pelletizado experimental del CIEFAP en la localidad de San Carlos de Bariloche.

La molienda se realizó en un molino de martillos con aspiración forzada y una malla con perforaciones de 4 mm. Para el proceso de pelletizado se utilizó un equipo de matriz plana con accionamiento de velocidad variable de 4 kW de potencia. La temperatura de ingreso del material a la pelletizadora fue en promedio de 11°C. En la figura 2 se muestra la temperatura superficial de los pellets, siendo del orden de los 100-105°C en la salida de la matriz. La velocidad de rotación de la pelletizadora se mantuvo en un rango entre 147 y 208 rpm, y la luz inicial entre rodillo y matriz de 0,20 a 0,25 mm. Para la fuente 1 y 3 se utilizó una matriz con orificios de diámetro 6 mm y una longitud efectiva de 36 mm. Mientras que para la fuente 4 se debió aumentar la luz a una longitud efectiva de 42 mm para alcanzar una buena compactación (Cuadro 2). En todos los casos el ángulo de ingreso al canal fue de 60° y 1mm de profundidad. En ninguno de los casos se utilizaron aditivos en el pelletizado.

**Cuadro 2.** Parámetros del proceso de pelletizado.

Material	Longitud de los orificios de la matriz (mm)	Velocidad del rodillo (rpm)	Temperatura Matriz (°C)	Caudal másico de producción (Kg/h)
Fuste	36	147	92-97	17,8
Rama	36	152	87	18,7
Acícula	41,7	208	85-90	16,2

<sup>1</sup> P31S. Distribución del tamaño de partículas donde la fracción principal (≥60% m/m) se encuentra entre 3.15 mm y 31.50 mm, la fracción de finos (≤3.15 mm) es ≤10% (m/m), y la longitud máxima de las partículas es ≤150 mm (ISO 17225-4).



**Figura 3.** Termografía pelletizadora mostrando la temperatura de la superficie del pellet (Izq). Descripción de zonas pelletizadora (Der).

### Caracterización de Biocombustibles

Los pellets y astillas (*chips*) producidos fueron evaluados con los parámetros contemplados en la normativa de biocombustibles sólidos para uso domésticos IRAM ISO 17225-2 y 17225-4 (Cuadros 3 y 4). Dichas normas establecen clases de calidad dependientes de las características de cada biocombustible, y que son fundamentales para identificar si estos son aptos para usarlos en una diversa gama de equipos (a menor calidad de combustible se necesitan mejores tecnologías de combustión y alimentación). Para los fines de este documento las clases informadas fueron elegidas teniendo en cuenta solo los parámetros evaluados. Para su comercialización las normativas exigen un análisis de elementos más extenso. La preparación de las muestras estudiadas fue realizada según los lineamientos de la normativa ISO 14780<sup>1</sup> y los resultados expresados para cada parámetro corresponden a valores promedios de las determinaciones realizadas.

Los parámetros contemplados para la categorización fueron:

- Origen y fuente
- Contenido de Humedad: Contenido de agua en porcentaje respecto del peso total (a.r.<sup>2</sup>).
- Contenido de cenizas: Cantidad de material inorgánico en la biomasa en base seca (d.b.<sup>3</sup>).
- Diámetro y Largo del pellet: Parámetros dimensionales del pellet.
- Durabilidad mecánica: Indica la resistencia mecánica de los pellets cuando son sometidos a un esfuerzo mecánico (golpeteo).
- Aditivos: Material que se introduce intencionalmente en conjunto con la materia prima para aglutinar.
- Densidad aparente: Masa/volumen (kg/m<sup>3</sup>)
- Poder calorífico superior: Energía contenida en una unidad de masa.
- Poder calorífico inferior: poder calorífico superior corregido por la humedad del combustible.
- Contenido de Finos (ISO 18846): Porcentaje de material de tamaño menor a 3,15 mm que posee una muestra dada de pellets.
- Nitrógeno (ISO 16948).
- Azufre y Cloro (ISO 16994).

<sup>1</sup> Comité Europeo de Normalización. *UNE-EN ISO 14780 – Biocombustibles sólidos. Preparación de muestras*

<sup>2</sup> a.r. (As received): Siglas en inglés de "Como se recibe".

<sup>3</sup> d.b. (Dry basis): Siglas en inglés de "Base seca".

**Cuadro 3.** Especificación de “pellets” de madera clasificados para aplicaciones residenciales y comerciales.

	Clase de propiedad/método de análisis	Unidades	Categorías		
			A1	A2	B
Normativo	Origen y fuente, IRAM-ISO 17225-1	--	1,1,3 madera de tronco  1,2,1 residuos de madera no tratada químicamente	1,1,1 árboles enteros sin raíces  1,1,3 madera de tronco  1,1,4 residuos de cosecha forestal  1,2,1 residuos de madera no tratada químicamente	1,1 madera de bosque, plantación y otras maderas vírgenes  1,2 subproductos y residuos de la industria del procesamiento de la madera  1,3,1 madera usada no tratada químicamente
	Diámetro, D <sup>a</sup> y longitud, L <sup>b</sup> , ISO 17829, de acuerdo con Figura 1.	mm	D0,6, 6,00 ± 1,00; 3,15 < L ≤ 40,00  D08, 8,00 ± 1,00; 3,15 < L ≤ 40,00	D0,6, 6,00 ± 1,00; 3,15 < L ≤ 40,00  D08, 8,00 ± 1,00; 3,15 < L ≤ 40,00	D0,6, 6,00 ± 1,00; 3,15 < L ≤ 40,00  D08, 8,00 ± 1,00; 3,15 < L ≤ 40,00
	Humedad, M ISO 18134-1, ISO 18134-2	%(m/m) <sup>1</sup> según se recibe en base húmeda	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
	Ceniza, A, ISO 18122	%(m/m), en base seca	A0,7 ≤ 0,7	A1,2 ≤ 1,2	A2,0 ≤ 2,0
	Durabilidad mecánica, DU, ISO 17831-1	%(m/m) según se recibe	DU97,5 ≥ 97,5	DU97,5 ≥ 97,5	DU96,5 ≥ 96,5
	Finos, F, ISO 18846	%(m/m) según se recibe	F1,0 ≤ 1,0	F1,0 ≤ 1,0	F1,0 ≤ 1,0
	Aditivos <sup>c</sup>	%(m/m) según se recibe	≤ 2 Declarar tipo y cantidad	≤ 2 Declarar tipo y cantidad	≤ 2 Declarar tipo y cantidad
	Poder calorífico inferior, Q, ISO 18125	MJ <sup>2</sup> /kg o kWh <sup>3</sup> /kg según se recibe	Q16,5 ≥ 16,5 o Q4,6 ≥ 4,6	Q16,5 ≥ 16,5 o Q4,6 ≥ 4,6	Q16,5 ≥ 16,5 o Q4,6 ≥ 4,6
	Densidad aparente, BD, ISO 17828	kg/m <sup>3</sup> según se recibe	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
	Nitrógeno, N, ISO 16948	%(m/m), en base seca	N0,3 ≤ 0,3	N0,5 ≤ 0,5	N1,0 ≤ 1,0
	Azufre, S, ISO 16994	%(m/m), en base seca	S0,04 ≤ 0,04	S0,05 ≤ 0,05	S0,05 ≤ 0,05
	Cloro, Cl, ISO 16994	%(m/m), en base seca	Cl0,02 ≤ 0,02	Cl0,02 ≤ 0,02	Cl0,03 ≤ 0,03

<sup>a</sup> Declarar el tamaño seleccionado D06 o D08 de los “pellets”.

<sup>b</sup> La longitud máxima debe ser ≤ 45 mm.

<sup>c</sup> Tipo de aditivos para ayudar a la producción, entrega o combustión.

(Fuente: Extraído de IRAM-ISO 17225-2)

<sup>1</sup> %(m/m): Porcentaje masa/masa. Masa del parámetro medido dividido (ej: agua) por la masa total del componente medido (ej: pellet).

<sup>2</sup> MJ: mega Joules

<sup>3</sup> kWh: kilo Watts hora

**Cuadro 4.** Especificación de *chips* de madera clasificados.

Clase de propiedad/ método de análisis	Unidades	Categorías			
		A1	A2	B1	B2
<b>Origen y fuente,</b> IRAM-ISO 17225-1	--	1,1,1 árboles enteros sin raíces	1,1,1 árboles enteros sin raíces	1,1 madera de bosque, plantación y otras maderas vírgenes	1,1 madera de bosque, plantación y otras maderas vírgenes
		1,1,3 madera de tronco	1,1,3 madera de tronco	1,2,1 residuos de madera no tratada químicamente	1,2 subproductos y residuos de la industria del procesamiento de la madera
		1,1,4 residuos de cosecha forestal	1,1,4 residuos de cosecha forestal		
		1,2,1 residuos de madera no tratada químicamente	1,2,1 residuos de madera no tratada químicamente	1,3,1 madera usada no tratada químicamente	
<b>Tamaño de partícula, P,</b> ISO 17827-1	mm	Seleccionar del Cuadro 4			
<b>Humedad, M</b> ISO 18134-1, ISO 18134-2	%(m/m)	M10 ≤ 10 M25 ≤ 25	M35 ≤ 35	Declarar el valor máximo	
<b>Ceniza, A,</b> ISO 18122	% (m/m), en base seca	A1,0 ≤ 1,0	A1,5 ≤ 1,5	A3,0 ≤ 3,0	
<b>Densidad aparente, BD,</b> ISO 17828	kg/m <sup>3</sup> suelto según se recibe	BD150 ≥ 150 BD200 ≥ 200 BD250 ≥ 250	BD150 ≥ 150 BD200 ≥ 200 BD250 ≥ 250 BD300 ≥ 300	Declarar el valor mínimo	
<b>Nitrógeno, N,</b> ISO 16948	% (m/m), en base seca	No aplicable	No aplicable	N1,0 ≤ 1,0	
<b>Azufre, S,</b> ISO 16994	% (m/m), en base seca	No aplicable	No aplicable	S0,1 ≤ 0,1	
<b>Cloro, Cl,</b> ISO 16994	% (m/m), en base seca	No aplicable	No aplicable	Cl0,05 ≤ 0,05	
<b>Poder calorífico inferior, Q,</b> ISO 18125	MJ/kg o kWh/kg según se recibe	Declarar el valor mínimo		Declarar el valor mínimo	

(Fuente: IRAM-ISO 17225-4)

**Cuadro 5.** Tamaño de partícula de los *chips* de madera clasificados

Dimensiones (mm), ISO 17827-1				
Fracción principal [mínimo 60% (m/m)] (mm)	Fracción de finos % (m/m) (≤ 3,15 mm)	Fracción gruesa % (m/m)	Longitud máxima de las partículas (mm)	Área máxima de la sección transversal de la fracción gruesa (cm <sup>2</sup> )
P16S 3,15 mm < P ≤ 16 mm	≤ 15%	≤ 6% (> 31,5 mm)	≤ 45 mm	≤ 2 cm <sup>2</sup>
P31S 3,15 mm < P ≤ 31,5 mm	≤ 10%	≤ 6% (> 45,0 mm)	≤ 150 mm	≤ 4 cm <sup>2</sup>
P45S 3,15 mm < P ≤ 45 mm	≤ 10%	≤ 10% (> 63,0 mm)	≤ 200 mm	≤ 6 cm <sup>2</sup>

El tamaño de partícula de los chips se determinó a partir de una muestra segregada por tamaños mediante el uso de un conjunto de tamices. Con la masa recolectada en cada tamiz, y el uso del Cuadro 5 se determinó el tamaño de partícula, parámetro que es fundamental para lograr el óptimo funcionamiento de los sistemas de alimentación en equipos alimentados con chips.

El contenido elemental (C, S y N) y el poder calorífico superior fueron analizados en laboratorios externos al CIEFAP. Para ello, se enviaron dos muestras molidas (< 1mm) de cada una de las fracciones de biomasa. El valor de los contenidos elementales se obtuvo con el resultado promedio de las muestras. El poder calorífico inferior se calculó según el anexo D de la norma ISO 17225-1.

### **Descripción del Ensayo y Equipamiento de Combustión.**

Las pruebas de combustión se efectuaron en una estufa doméstica para pellets de origen chino (Mocca Serrana) con una potencia nominal de 9 kW, y en una caldera de 50 kW de origen austriaco (Hargassner Eco HK-50).

- *Combustión de astillas*

La caldera de astillas pertenece a la Clase 5 según la normativa UNE-EN 303-5. Posee un sistema de alimentación por tornillo, sobre 2 parrillas móviles dentro de una cámara de combustión de material refractario. Estas parrillas permiten evacuar las cenizas de la combustión, lo que permite utilizar materiales donde este parámetro es elevado. El equipo posee regulación de aire primario y secundario, mediante control de O<sub>2</sub> por sonda lambda. Durante los ensayos la caldera estuvo configurada para trabajar a su potencia máxima. La alimentación del combustible dentro del silo se realizó en forma manual para registrar el consumo de combustible. Si bien se procuró abastecer al máximo al sistema de alimentación durante la duración de los ensayos, los mismos no fueron realizados a “silo lleno”. Esto último se aclara porque la alimentación de acículas a silo lleno no ha sido verificada en este estudio.

- *Combustión de pellets*

La información técnica de la estufa declara un límite de 500 ppm respecto a las emisiones de monóxido de carbono. El equipo, como la mayoría de las estufas estándar, no posee un sistema de evacuación de cenizas, sino un crisol quemador con perforaciones para el ingreso de aire donde los pellets arriban desde la tolva para ser quemados. Los gases de combustión son succionados por un ventilador colocado en la descarga de la estufa, generando una depresión en la cámara de combustión. El equipo cuenta con 4 niveles para regular su potencia. Durante la realización de ensayos de prueba utilizando pellets comerciales de alta calidad (A1) las 3 potencias más altas arrojaban valores elevados de monóxido y material particulado. Por ello, se escogió la potencia 4 (más baja) para los ensayos a realizar en este trabajo, ya que bajo esta configuración la combustión brindaba valores más acotados, que permiten realizar muestreos más largos para la comparación entre los 3 tipos de pellets a evaluar. Esta potencia es aproximadamente de 5 kW y se corresponde con el ensayo comúnmente denominado “a carga parcial”.

- *Ensayos de combustión y emisiones*

Los ensayos consistieron en la medición, para cada combustible, de los siguientes parámetros de operación:

- Concentración de monóxido de carbono (CO) en los gases de escape
- Material particulado total (MP) en los gases de escape
- Temperatura en los gases de escape
- Concentración de oxígeno en los gases de escape
- Temperatura ambiente
- Consumo de combustible
- Diferencia de presión en tubo Pitot (presión dinámica)
- Volumen de gases extraídos de la chimenea con la boquilla de muestreo
- Residuos en el crisol de la estufa. (solo para pellet)

Para la medición de concentración de oxígeno y monóxido de carbono, temperatura de gases y ambiente se utilizó un analizador de gases Testo 310 (mediciones spot). El cálculo de rendimiento térmico se realiza a partir de la normativa UNE-EN 14785 mediante las Expresiones 1 y 2 siguientes:

$$\lambda = \frac{0,21}{0,21 - O_2} \quad (1)$$

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad (2)$$

Donde:

$\lambda$ : Exceso de aire

$O_2$ : Concentración de oxígeno en los gases de escape

$\eta$ : Eficiencia térmica de la estufa

$q_a$ : Perdidas de calor sensible en los humos

$q_b$ : Perdidas de calor latente en los humos

$q_r$ : Perdidas térmicas debido a los constituyentes combustibles en los residuos que pasan a través de la parilla

Las expresiones correspondientes a  $q_a$ ,  $q_b$ , y  $q_r$  se encuentran detalladas en la normativa EN 14785. Estas pérdidas  $q_r$  están mayormente asociadas con el contenido de carbono no combustionado que se encuentra en los residuos de combustión. Con el objetivo de obtener una primera aproximación del rendimiento estas pérdidas se desprecian.

Debido a que las estufas a pellet en general no cuentan con la capacidad de eliminar cenizas del crisol de combustión, la evaluación de cenizas remanente en el crisol luego de la combustión se realizó mediante el pesaje en balanza electrónica de precisión (3000 g  $\pm$  0,1 g), antes y después del ensayo de combustión. Esta medición está relacionada con el contenido de ceniza propio del material (ensayo de laboratorio según ISO 18122), sin embargo, durante la combustión un porcentaje de las cenizas vuelan fuera del crisol junto con la corriente de gases, por lo que el valor no será idéntico al ensayo de laboratorio. La cantidad de material residual en el crisol junto con su tendencia a aglomerarse influirá directamente en la combustión modificando los ingresos de aire y derivando en errores de encendido por no permitir el contacto del pellet nuevo con el aire caliente proveniente de la resistencia de encendido. Para establecer una comparación entre ensayos se definió el porcentaje de cenizas depositada (%CD) como la cantidad de ceniza depositada por kg de combustible, a partir de la Expresión 3.

$$\%CD = \frac{\text{masa depositada en crisol luego de la combustion[g]}}{\text{masa de combustible quemado[g]}} \quad (3)$$

Para la evaluación de Material Particulado, en estufa y caldera, se utilizó un medidor isocinético en el cual se captura el material en un filtro HEPA de 99,9% de eficiencia en retención de partículas de 0,3  $\mu\text{m}$ . La metodología empleada se basó en la descrita en los métodos 5 y 17 de la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (USEPA)<sup>1</sup>, con adaptaciones para adecuarlo a las mediciones en chimeneas de diámetros reducidos. Estas mediciones requieren que el filtro se encuentre calefaccionado para evitar condensaciones. Para ello, el método 5 cuenta con una caja caliente donde el portafiltro es colocado y mantenido a una temperatura de 120°C, mientras que el método 17 utiliza el propio calor de la chimenea colocando el portafiltro en su interior. En este trabajo se utilizó una sonda de muestreo bajo los lineamientos del método 17, pero no fue posible colocarla dentro de la chimenea, ya que su tamaño superaba el diámetro de las mismas (2"-3"). Como alternativa, se decidió colocarlo por fuera y a temperatura ambiente, asumiendo el riesgo de que el filtro se mojé y tener que descartar dicha medición<sup>2</sup>. Además, se utilizó solo un punto de muestreo en centro del flujo de gases de acuerdo con la normativa alemana VDI 2066 (Lenz, et al., 2018). Por último, se realizó una reducción de la sección en el conducto de escape para lograr un aumento de velocidad del flujo de gases. Esto permitió aumentar las mediciones de presión dinámica, y de esta manera disminuir el error asociado al registro de las bajas velocidades de gases de los equipos de combustión domésticos para biomasa (valores de 2,5 m/s aumentaron a 6 m/s).

<sup>1</sup> Environmental Protection Agency of United States. Method 5 and 17 - Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources.

<sup>2</sup> Una vez concluida la corrida de medición se verificaba si el filtro se había mojado. De ser así, se descartaba el dato obtenido.

La velocidad con la cual se acumula el material particulado (MP) en el filtro de medición impacta directamente en la caída de presión a través del mismo. Por ello, fue necesario modificar la presión de succión aguas abajo del filtro continuamente, para mantener una velocidad constante e isocinética con el flujo de gases. Los ensayos más cortos, fueron finalizados cuando por la pérdida de carga en el filtro, ya no se podía garantizar el isocinetismo. Esta característica es de vital importancia, ya que los contaminantes sólidos, como el MP, poseen movimiento, y si los mismos no son extraídos a la misma velocidad con la que circulan por el ducto se desviaría el valor obtenido del real.

Según UNE EN 303-5 El isocinetismo (expresión 4) debe encontrarse entre el 70 y 150% para considerar válido el ensayo.

$$\text{Isocinetismo} = \frac{100 \cdot V_e}{V_g} \quad (4)$$

Donde;

$V_e$ : Velocidad de extracción.  
 $V_g$ : Velocidad del gas.

En todos los ensayos el isocinetismo se mantuvo entre 90 y 105%. Se contabilizó el tiempo de combustión, desde que el equipo entro en régimen hasta la finalización de las mediciones.

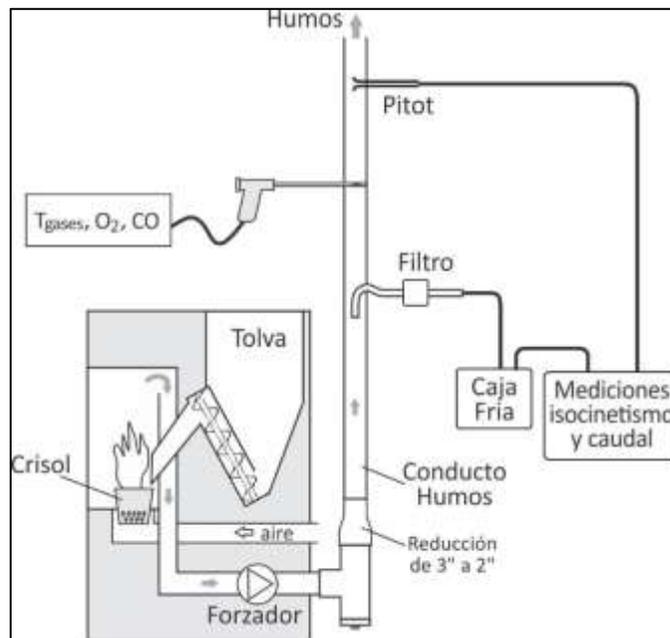


Figura 4. Set de medición estufa a pellets

La Figura 4 muestra el esquema del set de medición para la estufa. El set de medición para la caldera es equivalente, pero la reducción en el diámetro del conducto de escape fue de 6" a 4". Como se comentó anteriormente, las reducciones se realizaron con el fin de aumentar la velocidad de los gases y por ende la presión dinámica asociada. De esta manera se disminuye el error asociado a las bajas lecturas que se obtienen en la medición de equipos que combustionan biomasa.

## RESULTADOS

### Caracterización de Pellets y Astillas

- *Pellets*

Las características de los pellets utilizados en el estudio se resumen en el Cuadro 6 y Figura 5.

**Cuadro 6.** Caracterización de los pellets fabricados para el estudio.

Parámetro	Método/Norma de referencia	Pellet de fuste	Pellet de ramas	Pellet de acícula	Unidades
Humedad (ar)	ISO 18134-2: 2018	8,4	9,2	9,7	% (m/m)
Cenizas (db)	ISO 18122: 2015	0,3	1,5	2,4	% (m/m)
Diámetro	ISO 17829: 2015	6,0	6,1	6,1	mm
Largo (promedio)	ISO 17829: 2015	9,9	12,9	14,2	mm
Largo (desv. estándar)	ISO 17829: 2015	4,4	4,1	4,0	mm
Durabilidad mecánica	ISO 17831-1: 2015	93,1	98,4	97,4	% (m/m)
Aditivos	ISO 17225-1	0	0	0	% (m/m)
Densidad aparente (ar)	ISO 17828: 2015	670	680	620	kg/m <sup>3</sup>
Poder calorífico superior	ISO 18125	19,13	19,58	19,98	MJ/kg
Poder calorífico inferior	Cálculo según ISO 17225-1	16,21	16,47	16,74	MJ/kg
Nitrógeno (db)	IRAM-SAGyP 29572-1	0,026	0,106	0,694	% (m/m)
Azufre (db)	ISO 16994	0,04	0,04	0,08	% (m/m)
Cloro (db)	ISO 16994	0,008	0,015	0,02	% (m/m)
Clase	ISO 17225-2 <sup>a</sup>	<b>A1<sup>b</sup></b>	<b>B</b>	-	

<sup>a</sup>La clase fue seleccionada en forma inicial teniendo en cuenta los parámetros relevados. La clasificación final requiere un análisis más detallado de la composición química.

<sup>b</sup>Los parámetros de la biomasa son coherentes con calidad A1, sin embargo, la durabilidad mecánica debe ser mayor (>97,5%) para alcanzar esta categoría.

ar: según se recibe – db: base seca



**Figura 5.** Pellets de fuste (izq.), de ramas (centro) y de acículas (der.) utilizados en los ensayos.

El color característico de cada uno de los pellets (Figura 5) es producto de las materias primas utilizadas. En el primero, de izquierda a derecha, solo se utilizó biomasa de fuste sin corteza, por ello el color marrón claro. Para el segundo, la proporción de corteza era muy similar a la de madera y esto provocó que el color se vuelva un tono más oscuro que el primero. La última biomasa por su parte, al contener

una gran cantidad de follaje (además de algunas ramas), hizo que el color de los pellets fuese verde oscuro.

Los análisis de laboratorio realizados sobre los pellets de las 3 fuentes fueron comparados con los límites que establece para cada propiedad la norma ISO 17225-2. El pellet cuyo material proviene del fuste del pino ponderosa sin corteza podría ser clasificado con la calidad A1 (ver cuadro 3) respecto a las propiedades de la materia prima, pero el análisis realizado sobre el producto pelletizado dio una durabilidad mecánica menor al mínimo que requiere dicha calidad (>97,5%). Este parámetro depende en gran parte del proceso productivo. La durabilidad mecánica del pellet es una medida de su compactación, así, a mayor valor, menor será su ruptura y formación de polvillo. En este estudio los pellets no sufrieron transportes, los finos fueron eliminados y su densidad aparente está dentro de la normativa, por lo cual este parámetro no influyó en los análisis de combustión.

El pellet proveniente de ramas no contiene follaje, pero posee corteza. A partir de los análisis realizados se lo clasifica como categoría B. El contenido de cenizas es de 1,5% el cual es un valor bajo dentro de la categoría B. Normativas internacionales previas (2011) fijaban el límite de la categoría A2 en 1,5%.

El pellet fabricado a partir de material proveniente de ramas finas con gran contenido de acículas, posee un contenido de cenizas de 2,4% y de azufre de 0,08%, ambos valores superan el límite de la categoría B, por lo que no califican como combustibles recomendados para uso doméstico, aunque sí podrían ser compatibles con las normas que regulan combustibles para uso industrial.

Coincidiendo con el comportamiento observado para el pino ponderosa en la región de Aysén, Chile (Solórzano, 2017), el poder calorífico tanto superior como inferior de la fuente 4, fue mayor al de la 3 y éste mayor al de la fuente 1.

- *Astillas*

Las características de las astillas utilizadas en esta investigación se resumen en el Cuadro 7 y Figura 6

**Cuadro 7.** Caracterización de astillas producidas para el estudio

Parámetro	Método/Norma de referencia	Astilla fuste	Astilla ramas	Astilla acícula	Unidades
Humedad (ar)	ISO 18134-2 : 2018	10	18	15	%(m/m)
Cenizas (db)	ISO 18122 : 2015	0,6	1,5	2,4	%(m/m)
Granulometría	ISO 17827 + ISO 17225-4	P16S	P16S	-	mm
Densidad aparente (ar)	ISO 17828 : 2015	150	220	140	kg/m <sup>3</sup>
Poder calorífico superior	ISO 18125	19,13	19,58	19,98	MJ/kg
Poder calorífico inferior	Cálculo según 17225-1	15,91	14,82	15,78	MJ/kg
Clase	IRAM 17225-4	A1	A2	B1 <sup>(a)</sup>	

(a) Los parámetros de la biomasa son coherentes con calidad B1, sin embargo, la granulometría debe ser trabajada para este material.

Las astillas de fuste mostraron parámetros acordes a la categoría A1 y las procedentes de ramas a la categoría A2 (ver cuadro 4), ambas para uso doméstico. La granulometría es acorde a lo requerido por la mayor parte de los equipos de combustión. La caldera utilizada en este estudio acepta tanto tamaño P16s como P31s (este último de mayores dimensiones).



**Figura 6.** Astillas de ramas de pino ponderosa sin follaje utilizadas en los ensayos.

El material chipeado de ramas finas con acículas, difícilmente puede categorizarse como combustible para uso doméstico en el estado, forma y tamaño obtenido. El resto de los parámetros son coherentes con un combustible de clase B. Para los fines del estudio, este combustible se ensayó mediante alimentación manual en la tolva de ingreso, sin embargo, para uso continuo se debe trabajar sobre su geometría.

### Ensayos de Combustión

Los ensayos de combustión fueron realizados por duplicado, triplicado y hasta cuadruplicado según la cantidad de biocombustible disponible. Los resultados que se muestran en el Cuadro 8 contienen el valor promedio de las diferentes repeticiones. En los gráficos se acompaña el valor medio con un rango correspondiente a los valores extremos registrados.

**Cuadro 8.** Valores promedios de mediciones (n) en operación y resultados experimentales de combustión.

Parámetro	Unidad	Pellet fuste	Pellet Rama	Pellet Acícula	Astilla fuste	Astilla Rama	Astilla Acícula
Consumo	kg/h	1,23	1,21	1,05	14,3	13,2	10,9
Humedad	% (m/m)	8,4	9,2	9,7	10	18	15
$\lambda$		3,1	2,9	3,2	1,4	1,6	1,8
T° de humos	°C	197,9	203,0	197,1	141,6	130,7	132,1
T° ambiente	°C	20,2	16,3	20,6	22,0	17,5	27,6
O <sub>2</sub>	% dry gas <sup>a</sup>	14,2	13,6	14,5	5,4	7,5	9,3
CO	ppm dry gas <sup>b</sup>	88,9	43,9	122,7	8,6	50,5	169,7
Tiempo combustión	minutos	57	58	47	88	57	49
Repeticiones <sup>c</sup>	n	4	4	4	3	2	3
Eficiencia	%	77,9	78,4	77,7	92,6	92,2	91,9
Potencia útil	kW	4,3	4,3	3,8	53	50	38
CO @ 13% O <sub>2</sub> <sup>d</sup>	ppm	104,1	47,8	150,3	4,4	29,8	127,2
MP @ 10% O <sub>2</sub> <sup>e</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	42,4	65,8	210,5	-	28	54

<sup>a</sup> Porcentaje volumétrico de O<sub>2</sub> del gas de combustión seco (libre de humedad)

<sup>b</sup> ppm: partes por millón de CO en el gas de combustión seco

<sup>c</sup> Cantidad de muestreos realizados por cada biocombustible

<sup>d</sup> ppm de CO corregidas al 13% de O<sub>2</sub>

<sup>e</sup> mg de material particulado por m<sup>3</sup> normalizado (273 K y 1 atm) al 10% de O<sub>2</sub>

El consumo de pellet de la estufa fue similar para todos los casos. Como su alimentación es volumétrica (tornillo) la reducción en la masa quemada del pellet de acícula está asociada a su menor densidad aparente. La caldera de astillas, además de tornillo sinfín cuenta con un sensor de lecho brasa que notifica el nivel instantáneo de combustible dentro de la cámara. Durante los ensayos se observó que

debido a la geometría del material chipeado de acículas, no se logra mantener la masa requerida por la caldera, aun usando al 100% la velocidad del sistema de alimentación. Por lo mismo, la masa consumida de este combustible fue menor, y esto impacta en la potencia erogada. Esta dificultad podría superarse mediante la pelletización del material, por cuanto la caldera acepta otros formatos de biocombustibles distintos a los chips (pellets, carozo de aceituna, etc.). Por su parte, las astillas provenientes de fuste y ramas lograron la alimentación solicitada por el régimen de combustión a potencia máxima.

El rendimiento de combustión para los tres tipos de pellet se mantuvo en valores muy similares, rondando el 78%. Lo mismo ocurrió con la eficiencia en la caldera obteniéndose para los tres tipos de astillas valores del 92%.

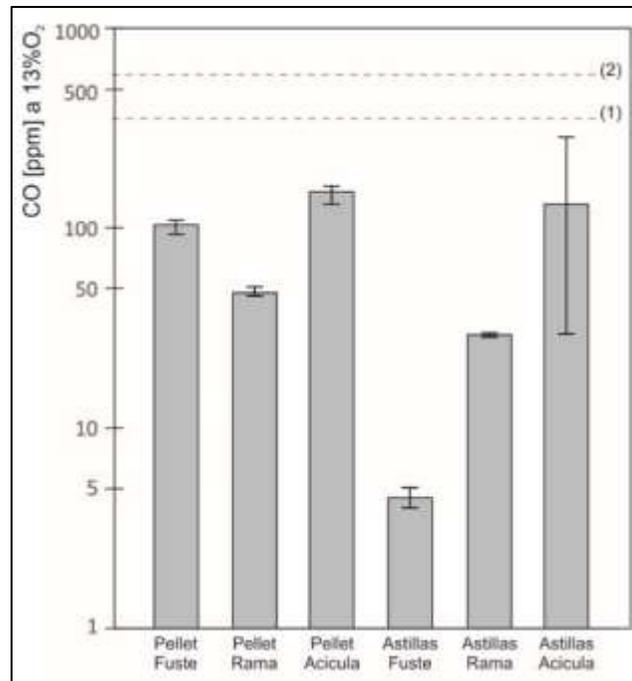
La potencia térmica se calcula directamente como producto del consumo de combustible, el poder calorífico inferior y el rendimiento de combustión. Tanto en los pellets y astillas, los materiales provenientes de fuste y ramas brindaron potencias similares. Con respecto al pellet de acícula la menor potencia está directamente asociada al menor consumo másico, este parámetro podría ser modificado si el proceso de transformación brindara un combustible más denso. Lo mismo ocurriría mejorando el proceso de chipeo de las acículas para reducir su tamaño y permitir un mayor caudal de alimentación en el tornillo de la caldera, o bien usando pellets de este material.

La concentración de oxígeno en los gases permitió calcular el exceso de aire ( $\lambda$ ). Para los ensayos en estufa se obtuvo valores  $\lambda$  entre 2,9 y 3,2, los que resultan altos en comparación con los valores de referencia óptimos ( $\lambda$  en rango 1,4 - 1,6) (Hansen & Rosentoft, 2009). Durante los ensayos se observó un aporte de aire sobre la llama proveniente del conducto de caída de pellets. Al respecto, se decidió no sellar la tolva ni reducir el ingreso de aire de combustión inferior de la estufa para ensayar los pellets en condiciones normales.

Para los ensayos de combustión en la caldera de astillas, se registraron valores de exceso de aire entre 1,4 y 1,8. Estos valores se obtienen gracias a la capacidad de la caldera de medir concentración de oxígeno en gases, y regular el aire de ingreso primario y secundario.

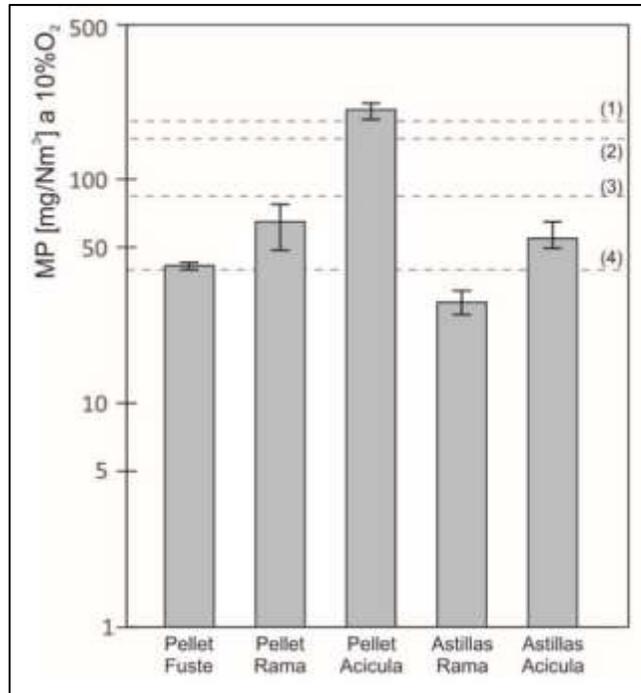
El contenido de Monóxido de carbono (CO) en el gas de combustión es un indicador de combustión incompleta y de que hay otros componentes no deseados y peligrosos en el gas de combustión, como por ejemplo hidrocarburos no quemados y posiblemente dioxinas (Hansen & Rosentoft, 2009).

Los resultados son corregidos a 13% de O<sub>2</sub>, Esto permite comparar los valores entre sí, como también con los límites establecidos por distintas normativas (Figura 7).

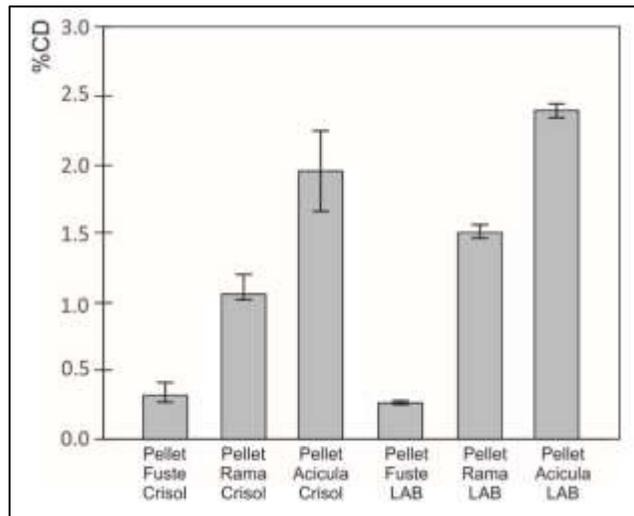


**Figura 7.** Concentración de monóxido de carbono (CO) en gases de combustión para los distintos ensayos. (1) Concentración máxima de CO según norma EN 303-5 Caldera astillas automáticas – Clase 5. (2) Concentración máxima de CO según norma EN 14785 Estufas a pellet (potencia reducida).

Los resultados de medición del material particulado (MP) deben ser corregidos a condiciones normales de presión y temperatura y 10% de oxígeno para poder compararse con los valores de referencia. En la Figura 8 se muestran las emisiones de MP para cada tipo de pellet y astillas, observándose una mayor emisión de material particulado a mayor contenido de ceniza en el combustible (ver Cuadro 7 y 8, y Figura 9).



**Figura 8.** Material particulado total en gases de combustión para los distintos ensayos. (1) Límite MP – Estufas a pellet – Dec. N°39 Ambiente Chile (calculado para las condiciones de la estufa a pellet de 5 kW). (2) Límite MP – EN 303-5 Caldera astillas automática – Clase 3. (3) Límite MP ENRE Argentina – Combustible: Carbón (centrales termoeléctricas). (4) Límite MP – EN 303-5 Caldera astillas automáticas – Clase 5



**Figura 9.** Contenido de material remanente en crisol luego de la combustión y contenido de cenizas propio de la biomasa. (Crisol: Contenido de cenizas obtenido en las pruebas de combustión. LAB: Contenido de cenizas obtenido bajo metodología ISO en laboratorio).

En el gráfico anterior se observa el porcentaje de material remanente luego de la combustión, respecto de la masa quemada. Las columnas de la izquierda indican el porcentaje de material remanente en el crisol, en tanto las de la derecha muestran los resultados de cenizas obtenidas en ensayos de laboratorio según ISO 18122, Si bien los ensayos no tuvieron duraciones exactamente iguales, el tiempo de cada periodo de combustión fue cercano a 1 hora.

## CONCLUSIONES

### Pellets

Los pellets de fuste sin corteza cumplen con los parámetros cotejados de la normativa IRAM ISO 17225-2 para los biocombustibles de mayor calidad. El pellet de rama, debido a su contenido de cenizas, alcanza la categoría B, la cual no es aceptada por todas las estufas domésticas, por cuanto estos equipos tienen una baja capacidad para manejar o evacuar los residuos depositados en el quemador. Un *blend* o mezcla entre los materiales del pellet de fuste y rama, o la aplicación de procesos de mejora (ej. tamizado y extracción de finos en el proceso de molienda previo al pelletizado) podrían brindar un material de mayor calidad. El material base del pellet de acícula no corroboró ninguna clasificación para uso doméstico, sin embargo, podría evaluarse su uso en el ámbito industrial.

El pelletizado permitió homogenizar las densidades y humedad de las tres fuentes, permitiendo que en todos los casos se obtengan rendimientos similares de combustión y potencia útil.

Para todos los pellets estudiados, las emisiones de monóxido de carbono se mantuvieron por debajo de las normativas de referencia más usuales para estufas trabajando a carga parcial (UNE-EN 14785).

Los pellets de fuste y rama mantuvieron valores de material particulado total inferiores al límite de la normativa chilena para estufas, mientras que el pellet de acícula superó ese valor. Es importante considerar que los valores absolutos dependen fuertemente del diseño del equipo de combustión.

Respecto al material residual en el crisol luego de la combustión, se observó que se mantiene una coherencia con los resultados de cenizas obtenidos en laboratorio. Una mayor cantidad de residuos y ceniza en el crisol modificará la combustión y puede impedir que la estufa encienda automáticamente si la cantidad de residuos es alta, lo cual implicará la necesidad de limpiezas más regulares.

Si bien el rendimiento es similar, lo que implica un buen aprovechamiento de la energía para los 3 materiales, el contenido de material particulado es un indicador de los ensuciamientos en el interior del equipo y de las emisiones ambientales. Estos ensuciamientos, como el depósito de cenizas en el cenicero, pueden reducir los rendimientos de combustión cuando el material se utilice en forma continua (en este estudio los tiempos de combustión fueron cercanos a 1 hora). Pensando en una utilización de estos materiales en equipos de combustión más complejos, la eficiencia de combustión estacionaria dependerá fuertemente de los mecanismos de limpieza que se utilicen, la potencialidad de mejorar las condiciones de la combustión y/o reducir el contenido de cenizas de los combustibles.

### Astillas

Las astillas provenientes del chipeo de fustes con corteza son coherentes con la categoría más alta (A1) de la normativa IRAM ISO17225-4 para usos domésticos. Seguidos por los chips provenientes de ramas acordes a la calidad A2, El material chipeado a partir de las acículas no posee una granulometría acorde a la definición de "chip energético" sin embargo las propiedades de la biomasa estarían dentro de la categoría B.

Debido al control de combustión que posee la caldera utilizada para los ensayos, todos los combustibles erogaron emisiones de monóxido de carbono menores al límite más exigente de la normativa UNE-EN 303-5 (Clase 5). Respecto al material particulado generado en la combustión de astillas provenientes de ramas, fue menor al límite para calderas clase 5, mientras que el de acículas fue mayor a este último,

pero menor al de emisiones para calderas Clase 3 de menores prestaciones. En este último caso, la alimentación de combustible no fue suficiente para el régimen de máxima potencia; configuraciones de potencia reducida podrían reducir las emisiones de material particulado en el uso de este biocombustible. Debido a lo mencionado, si bien el rendimiento de combustión fue similar, la potencia erogada para la combustión de acículas fue menor a la requerida por el valor objetivo.

Respecto a las tecnologías, el pelletizado permite homogenizar la calidad de las distintas fuentes, brindando la posibilidad de uso en aplicaciones domésticas con un alto rendimiento energético en equipos de combustión sencillos. Las astillas se presentan como un biocombustible de producción simple, pero requieren de equipos de mayor complejidad. El control de combustión que poseen las calderas automáticas con regulación de oxígeno como la utilizada, permitió obtener excelentes valores de emisiones para materiales de menor calidad.

## AGRADECIMIENTOS

Este informe fue realizado en el marco de un trabajo final de carrera de ingeniería ambiental de la Universidad Nacional de Río Negro. Por ello, consideramos importante hacerles llegar nuestra gratitud por brindar el marco de trabajo.

Además, agradecer al personal de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), especialmente a Marcelo Caputo y a Hector Bajano, quienes han participado del trabajo y nos brindaron las herramientas necesarias para poder llevarlo adelante.

A la Dirección de Bosques de la provincia de Río Negro por compartir el espacio donde hemos desarrollado el trabajo, y al CIEFAP por darnos la estructura necesaria para llevarlo a buen puerto.

A Georgina, Gastón, Claudia y Marcelo por sus aportes en la corrección del mismo.

## REFERENCIAS

- Diez, J., Claps, L. Andreassi, L. & Salvaré, F. (2017).** Aprovechando residuos forestales: Una alternativa de manejo integral de plantaciones de pino ponderosa en la cuenca de Arroyo del Medio. Revista Presencia INTA, N° 68. Pp: 9-14.
- Foppa-Pedretti, E., Toscano G., Duca D., Pizzi A. & Riva G. (2010).** Effects of the Quality of the Biomass on Combustion Emissions of Stoves and Small Boilers. International Conference Ragusa SHWA2010. 16-18 September, 2010. Ragusa Ibla Campus. Italia.
- González, A. (2016).** Eficiencia térmica en edificios: olvidando lo más importante. Patagonia Forestal, XXI(1): 9-11.
- Hansen, M.T. & Rosentoft, J.A. (2009).** English handbook for wood pellet combustion. PELLETSATLAS Project, EU.
- Lenz V., Thran D., & Pfeiffer, D. (2018).** Methods for Measuring Emissions of Particulate Matter from Solid Biomass Combustion. Series of funding programme "Biomass energy use".
- Solórzano, S. (Ed). 2017.** Herramienta para Negocios Sustentables en Biomasa Forestal. Informe Técnico N° 214. Instituto Forestal - Chile. 79 p.
- Uasuf, A. & Hilbert, J. (2012).** El uso de biomasa de origen forestal con destino a bioenergía en la Argentina. Informes técnicos bioenergía Año 1 N°2, Ediciones INTA.



---

ARTÍCULO

## Generación de un prototipo micro encapsulado de antioxidantes de hojas de maqui (*Aristotelia chilensis*) a partir del programa de mejoramiento genético de Plangen en Chile.

Roberto Ipinza C.<sup>1\*</sup> & Jorge González C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero de Montes. Investigador Instituto Forestal, sede Los Ríos. [Roberto.ipinza@infor.cl](mailto:Roberto.ipinza@infor.cl)

<sup>2</sup> Ingeniero en Biotecnología. Investigador Instituto Forestal sede Biobío.

\*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.574>

Recibido: 5.11.2022; Aceptado: 30.11.2022

---

### RESUMEN

El programa de mejoramiento genético de generación avanzada de *Aristotelia chilensis* diferencia los dos principales productos que posee esta especie; el fruto y sus hojas. Las hojas normalmente se han considerado un producto de desecho, no obstante, es el órgano que posee la más alta concentración de compuestos bioactivos. La diferenciación de los clones selectos por su alta productividad desde el punto de vista frutal, parece ser el punto inicial para evaluar cuáles de ellos pueden a su vez ser los que exhiban la mayor cantidad de polifenoles totales y la mayor capacidad de antioxidante en sus hojas.

La tecnología de microencapsulación de los extractos de antioxidante, altamente activos, ricos en polifenoles y valiosos puede ser utilizado en alimento y otros productos. El objetivo de esta investigación fue estudiar las condiciones para obtener un prototipo micro encapsulado en base al mejor clon en cuanto a la cantidad de polifenoles totales y su capacidad de antioxidantes. Ambos atributos han recaído sobre el clon PGL3. Las microcápsulas obtenidas con este procedimiento contenían 81 mg/g sólidos total de polifenoles y su capacidad antioxidante medida en DPPH alcanzo a 75 mg de trolox/g sólidos total.

**Palabras clave:** *Aristotelia chilensis*, maqui, extractos de hojas, polifenoles, capacidad antioxidante, micro capsulas

### SUMMARY

The advanced generation breeding program of *Aristotelia chilensis* differentiates the two main products of this species; the fruit and the leaves. The leaves have normally been considered a waste product; however, it is the organ with the highest concentration of bioactive compounds. The differentiation of selected clones for their high productivity from the fruit point of view seems to be the starting point to evaluate which of them may in turn be the ones that exhibit the highest amount of total polyphenols and the highest antioxidant capacity in their leaves.

The microencapsulation technology of the highly active, polyphenol-rich and valuable antioxidant extracts can be used in feed and other products. The objective of this research was to study the conditions to obtain a microencapsulated prototype based on the best clone in terms of the amount of total polyphenols and its antioxidant capacity. Both attributes have fallen on the PGL3 clone. The microcapsules obtained with this procedure contained 81 mg/g total polyphenol solids and their antioxidant capacity measured in DPPH reached 75 mg trolox/g total solids.

**Key words:** *Aristotelia chilensis*, Maqui, leaf extracts, polyphenols; antioxidant capacity, micro capsules

---

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con [Zuñiga et al. \(2017\)](#) el maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz.) es conocido por sus usos farmacológicos en la medicina tradicional de las comunidades nativas huilliches y mapuches de Chile. Se indica que tiene excelentes propiedades medicinales que ayudan a curar diarreas crónicas, disentería, enfermedades de la garganta, tumores intestinales, fiebre y cicatrización de heridas. Farmacológicamente, se han investigado las actividades antioxidantes, antidiabéticas y antivirales de las frutas y hojas de maqui.

El maqui tiene una importante presencia de fitoquímicos que pueden tener incidencia en la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo. En este sentido, el maqui no solo aporta nutrientes esenciales, sino que también fitoquímicos bioactivos, como alcaloides y polifenoles que potencialmente pueden contribuir a la promoción de la salud y prevención de enfermedades ([Fredes et al., 2020](#)).

En relación con el uso tradicional de la infusión de hoja de maqui para las dolencias de la garganta, tales como: inflamación, dolor e infección, [Delporte \(2006\)](#) evaluó la actividad antiinflamatoria, antioxidante y antimicrobiana de diferentes tipos de extractos de hoja de maqui.

También [Muñoz et al. \(2011\)](#) investigaron la actividad analgésica, antiinflamatoria y antioxidante usando un ensayo *in vivo*, bio-guiado, para identificar los principales constituyentes químicos del maqui que validan científicamente su uso medicinal.

Las hojas de maqui, generalmente desechadas en la producción agroindustrial de frutos, también podrían ser utilizadas para obtener ingredientes bioactivos, ya que [Rubilar et al. \(2011\)](#) y [Muñoz et al. \(2011\)](#) demostraron que tienen incluso mayor contenido total de polifenoles y capacidad antioxidante que las bayas de maqui ([Rivera-Tovar et al., 2019](#)).

[Muñoz et al. \(2011\)](#), identificaron los alcaloides en distintos tipos de extractos obtenidos de la hoja de maqui y establecen que el extracto diclorometano de las hojas de maqui presenta una mezcla de triterpenoides (ácido ursólico y friedelina) y flavonoides como la quercetina.

Los distintos tipos de extractos presentan una composición de alcaloides y triterpenoides diferentes. Por ejemplo, el extracto metanólico tiene flavonoides como la quercetina-3-O-β-D-glucósido y el kaempferol, mientras que el extracto acuoso tiene una mezcla de alcaloides (protopina y aristotelina) y ácidos fenólicos ([Muñoz et al., 2011](#)).

Se han identificado varios polifenoles en las hojas de maqui: dos ácidos fenólicos (ácido gálico y ácido cumárico), cuatro flavonoles (quercetina, isoquercetina, miricetina y rutina), dos antocianinas (pelargonidina y peonidina), un flavanol (catequina) y un estilbeno (resveratrol) ([Vidal et al., 2013](#)). Las hojas de maqui contienen alcaloides de indol y quinolina (aristotelina, serratolina, aristotona, horbatina, horbatinol, protopina, aristoquinolina, 3-fromilindol).

[Avello et al. \(2008\)](#) evaluaron la capacidad antioxidante (CA) con el método TBARS (sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico) en plasma antes y después de la ingesta de una infusión de hoja de maqui (1%). El contenido de fenoles totales en la infusión fue de 0,074 mM equivalentes de ácido gálico (=EAG).

[Rubilar et al. \(2011\)](#) obtuvieron extractos de hojas de maqui por maceración con 50% de agua/etanol a temperatura ambiente y una relación solvente a sólido de 5:1. El contenido total de polifenoles de los extractos obtenidos fue de 69,0 ± 0,9 mg EAG/g de peso seco, y la capacidad captadora de antirradicales frente a DPPH<sup>1</sup> mostró una IC50<sup>2</sup> de 8,0 ± 0,1 mg de extracto/L.

---

<sup>1</sup> DPPH, es el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo. Este método se utiliza para determinar la capacidad antioxidante de alimentos y compuestos sintéticos, y mide en términos de su porcentaje de inhibición del antioxidante.

<sup>2</sup> La mitad de la concentración inhibitoria máxima (IC50) es una medida de la potencia de una sustancia para inhibir una función biológica o bioquímica específica.

Bianchi *et al.* (2021) desarrollan un procedimiento para la extracción comercial de biocompuestos a partir de hojas de maqui. Dichos autores denominan a su procedimiento como de tecnologías verdes, ya que utilizan el agua como único solvente para recuperar compuestos fenólicos con propiedades antirradicales. Estos resultados sugieren que las hojas de maqui podrían ser una excelente fuente de antioxidantes y compuestos lipofílicos para muchas industrias, como la nutracéutica y farmacéutica (Crisóstomo-Ayala *et al.*, 2022).

*Aristotelia chilensis* es una planta rica en fenoles y otros compuestos bioactivos y como sus hojas se eliminan como desecho en la industria frutícola de maqui, el objetivo de este estudio es utilizarlas en base del conocimiento de los fitoquímicos presentes en esta especie, para que se pueda utilizar y aumentar la concentración de estos compuestos a través del programa de mejoramiento genético de la empresa Plangen (Ipinza *et al.*, 2020) y de esta forma agregar aún un mayor valor a las hojas de este valioso cultivo industrial. En términos específicos este estudio se enfoca a:

- a) Cuantificar los polifenoles totales y la capacidad antioxidante de tres tipos de extractos de hojas de maqui, en cada uno de los cinco clones productivos derivados del programa de mejoramiento genético de la empresa Plangen.
- b) Evaluar la actividad antioxidante del extracto seleccionado y su efecto *in vitro* e *in vivo*.
- c) Generar un prototipo de aditivo, antioxidante y encapsulado fundamentalmente para la alimentación animal.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Clones Utilizados

El estudio se llevó a cabo utilizando cinco clones de alta productividad frutícola, originados en el programa de primera generación de mejora genética (PMG) de la empresa Plangen (Máfil, Región de Los Ríos, Chile). Dichos clones se han designado con la siguiente identificación: PLG1, PLG2, PLG3, PLG4 y PLG5.

### Análisis de la Calidad y Pureza de las Hojas de Maqui a través de Mediciones Físicoquímicas de Hojas Frescas

El alto contenido de humedad de las muestras de hojas favorece el crecimiento de hongos y la hidrólisis de los principios activos presentes en ellas. Es por ello que el almacenamiento por largos períodos debe realizarse luego de un proceso de secado, donde se logre disminuir el contenido de humedad hasta niveles seguros. Los límites establecidos por la farmacopea para limitar el crecimiento de microorganismos en este tipo de productos son de 8 a 14%. Otra alternativa es el congelamiento de las hojas.

Las cenizas por su parte dan cuenta del contenido de minerales presentes en las plantas y su origen puede ser fisiológico o producto de contaminantes externos como polvo, tierra, arenas, entre otros, provenientes del medio ambiente. La farmacopea establece un valor límite de 11%.

### Caracterización Fitoquímica de Extractos de Hojas de Maqui

La identificación de la familia de compuestos químicos se realizó a partir de plantas frescas de maqui. Estas fueron sometidas a tres extracciones sucesivas siguiendo un orden de polaridad ascendente, utilizando éter etílico, etanol y finalmente agua, como se describe en la Figura 1.

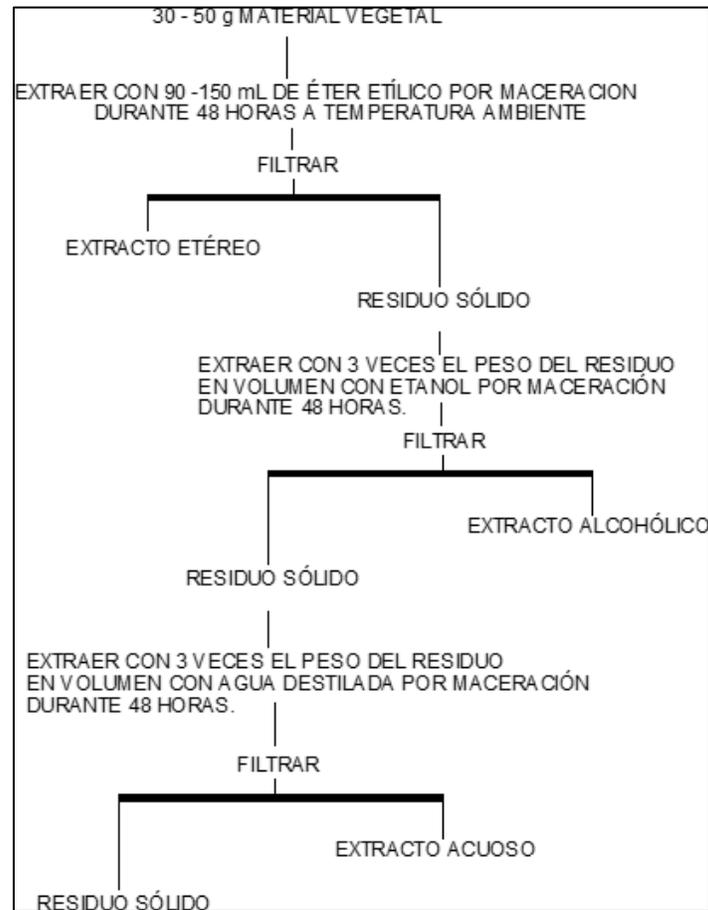


Figura 1. Extracción sucesiva de material vegetal para la aplicación de las técnicas de tamizaje fitoquímico.

### Selección del Tipo de Extracto y Ecotipos de Hoja de Maqui

Se cuantificaron los polifenoles totales (PT) y la capacidad antioxidante (CA) de los tres tipos de extractos y de los 5 clones de hoja de maqui, mediante el método descrito para el reactivo Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999), y el método colorimétrico Difenilpicrilhidrazilo (DPPH) (Goupy *et al.*, 2003), respectivamente. Se preparó una curva de calibración de ácido gálico cuyo rango de concentración fue de 1-7,5 µg/mL.

Previo a la reacción, los extractos fueron diluidos con agua destilada. A una alícuota de 50 µL de cada extracto se le añadió 430 µL de agua y 20 µL de la solución de Folin-Ciocalteu y se dejó reposar durante cinco minutos, luego se adicionó 450 µL de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) al 20%. Posteriormente, se agitó vigorosamente, se cubrió de la luz y se le llevó a reposo por 60 minutos a temperatura ambiente. Las absorbancias respectivas fueron medidas a 725 nm en un espectrofotómetro. Las muestras fueron analizadas por duplicado y el contenido de compuestos fenólicos totales fue expresado en mg de ácido gálico/g de sólidos totales en el extracto.

Para la cuantificación de DPPH se empleó el método de Brand-Williams *et al.* (1995). Los extractos fueron diluidos con metanol al 80% previo a la reacción. A 100 µL de muestra se le agregó 3.8 mL de una solución metanólica de DPPH, se evaluó la capacidad de las muestras para atrapar el radical DPPH, por medio de la disminución de la absorbancia leída luego de 30 minutos de reacción a una longitud de onda

de 515 nm, y se comparó el valor con la curva de referencia construida con Trolox<sup>1</sup> como patrón primario, expresando los resultados como valores TOT ( $\mu\text{mol Trolox/g}$  de sólidos totales en el extracto). El valor se expresa en porcentaje de la capacidad de inhibición de los oxidante o capacidad antioxidante.

Lo anterior se realizó con la finalidad de seleccionar un tipo de extracto y clones que demuestren los mejores resultados obtenidos en los parámetros evaluados de contenido de polifenoles totales (PT) y de la capacidad antioxidante (CA), para posteriormente continuar con la generación del prototipo de aditivo antioxidante.

### Análisis Estadístico

Los datos obtenidos corresponden a la media  $\pm$  D.S. ( $n=5$ ). Para comparar los clones y los extractos, los valores promedios se analizaron mediante ANOVA con un nivel de confianza del 95 % ( $p < 0,05$ ), previa comprobación de la normalidad, seguido de la prueba de Tukey. Para aquellos datos que no cumplieran con los supuestos de normalidad se realizó el test no paramétrico de Kruskal & Wallis. Los datos se analizaron utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS Plus versión 5.1 para Windows (*Graphic Systems Software, Inc. EE.UU.*).

### Cuantificación de Polifenoles Totales y DPPH en Extractos de Hoja de Maqui

Debido a que el secado es “spray”<sup>2</sup> para la generación del prototipo, requiere que la muestra este en medio acuoso. El extracto etanólico se secó en rotavapor para posteriormente resuspender el residuo en agua. Esto permitirá luego comparar las concentraciones de polifenoles totales y de DPPH en el extracto acuoso y en el etanólico resuspendido en agua.

### Generación de Prototipo de Aditivo Antioxidante

Se realizó un diseño experimental para evaluar las condiciones de proceso para la encapsulación de los compuestos antioxidantes del extracto secado por “spray”. Se evaluó temperatura de entrada al secador y concentración del agente protector de pared, en este caso su utilizó maltodextrina. Las condiciones determinadas se describen en el Cuadro 1. Cabe recalcar la necesidad de realizar al menos un filtrado del extracto seco y resuspendido por la alta cantidad de partículas sólidas, por lo que además fue necesario realizar pulsos de la válvula aspersora para evitar taponamientos. La relación de sólidos totales calculados como grados Brix<sup>3</sup> en el extracto y el contenido de material de pared en g (maltodextrina) es de 1:2.

**Cuadro 1.** Condiciones utilizadas de secado por aspersión

Variable	Valor
Temperatura entrada (°C)	140
Flujo de aire (mmHg/s)	50
Aspiración bomba (%)	95
Flujo de alimentación (mmHg/s)	10
Pulsos válvula aspersora (N°)	5

<sup>1</sup> El Trolox® es un análogo hidrosoluble del alfa-tocoferol. En virtud de su alta solubilidad en agua y su amplia disponibilidad comercial, el Trolox es universalmente empleado como estándar en (las curvas de comparación de) diversos ensayos de actividad antioxidante (como ORAC, TEAC). En el caso del ensayo ORAC, la actividad antioxidante se expresa como micromoles de Equivalentes Trolox (ET) por unidad de peso o de volumen de la muestra analizada (generalmente, por 100 g de peso fresco o 100 mL).

<sup>2</sup> El secado por atomización (Secado Spray) es el proceso de pulverizar una solución o suspensión en una corriente de aire caliente, la cual deshidrata en forma casi instantánea, obteniéndose partículas de polvo, con muy bajo contenido de agua, que contienen al compuesto en cuestión.

<sup>3</sup> El grado Brix (símbolo °Bx) es una unidad de cantidad que mide los sólidos o materia seca total disuelta en un líquido determinado.

## Evaluación *In Vivo* del Efecto Antioxidante del Extracto de Hoja de Maqui

La evaluación de antioxidante del extracto de hoja de maqui se realizó usando el modelo biológico *Caenorhabditis elegans*, un nemátodo ampliamente utilizado en estudio de evaluación de compuestos bioactivos con actividad antioxidante. En los nemátodos la sensibilidad al estrés oxidativo se logra mediante su exposición a algún agente oxidante, como la juglona<sup>1</sup>, (5-hidroxi 1,4- naftalenodiona), que es un compuesto generador de superóxido (Olsen *et al.*, 2006), que provoca un aumento de los niveles de ROS<sup>2</sup> en los nemátodos hasta el punto en que disminuye la supervivencia de los mismos.

Para el ensayo, se utilizó la cepa silvestre de nemátodo N2 Bristol obtenida del Centro de Genética de *Caenorhabditis* (CGC) de la Universidad de Minnesota, EEUU. Las condiciones de mantenimiento de los individuos fueron en placas de Petri con agar sólido NGM “*Nematode Growth Medium*” y como fuente de alimento se utilizó la cepa bacteriana *Escherichia coli* OP50. Los nematodos fueron almacenados a 20°C, temperatura que permite su desarrollo de huevo a adulto en 3 días (Stiernagle, 2006). Para los tratamientos, se utilizó placas estériles con agar NGM suplementadas con el extracto etanólico seco resuspendido en agua del clon seleccionado de maqui. Además, se utiliza un control negativo que corresponde a placas sin el producto y como control positivo, se utilizó el antioxidante quercetina. Se ha reportado que este antioxidante aumenta la resistencia al estrés oxidativo de los nemátodos expuestos al agente estresor juglona, en aproximadamente un 20% (Koch *et al.*, 2014).

### Ensayo de Resistencia al Estrés Oxidativo

Los nemátodos sincronizados en estado huevo fueron traspasados a los distintos tratamientos. Al tercer día, en estadio L4, los nemátodos fueron pasados a placas de 35 mm con NGM suplementadas con juglona a una concentración de 180 µM. El ensayo consistió en contabilizar cada 1 hora los individuos vivos y muertos durante un total de 5 horas, removiendo los nemátodos muertos (Senchuk *et al.*, 2017). El ensayo se realiza con tres repeticiones de cada tratamiento.

### Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de supervivencia acumulada mediante el método Kaplan – Meier. Las comparaciones de los tratamientos respecto a la condición control, se determinaron mediante *Log-rank* (comparación por parejas sobre los estratos), utilizando el programa *Graphpad Prism* versión 6.

### Prototipo Etiquetado

Al prototipo obtenido se le realizó una caracterización química nutricional y una evaluación del contenido de polifenoles totales y de la capacidad antioxidante mediante DPPH.

## RESULTADOS

### Análisis de la Calidad y Pureza de las Hojas de Maqui a través de Mediciones Físicoquímicas de Hojas Frescas.

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2. El contenido de humedad de las hojas de los clones oscila entre 53,7 - 57,6 g/100g de muestra. Los resultados de las hojas frescas cumplen con los estándares establecidos por la farmacopea, mostrando bajos contenidos de sustancias inorgánicas presentes en el material vegetal. Respecto de las cenizas solubles en agua o en ácido, estas son un parámetro asociado a la calidad de la muestra. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los

---

<sup>1</sup> La Juglona es un metabolito con acción fitotóxica.

<sup>2</sup> El término ROS se refiere a un grupo de moléculas conteniendo oxígeno con diferente reactividad química. Se les considera como metabolitos del oxígeno parcialmente reducidos que poseen una fuerte capacidad oxidante, aunque dicha capacidad varía entre las diferentes especies.

límites máximos de cenizas solubles en agua y ácido son de 7 y 5% respectivamente. Según esto, las hojas de maqui muestran valores muy por debajo de los límites reglamentarios, lo que hace que sea una buena matriz para la preparación de extractos, o para su utilización directa como hoja en polvo.

**Cuadro 2.** Calidad y pureza de las hojas de los clones de maqui

Propiedades	Clones				
	PLG1	PLG2	PLG3	PLG4	PLG5
Humedad (g/100g)	57,7	58,8	57,9	57,6	53,7
Cenizas totales (g/100g)	2,2	2,1	2,1	2,2	2,5
Sólidos solubles (g/100g)	1,2	1,4	1,5	1,3	1,3
Cenizas solubles en ácido (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cenizas solubles en agua (%)	1,7	1,3	1,3	1,5	1,6

### Caracterización Fitoquímica de Extractos de Hojas de Maqui

Los diferentes extractos obtenidos presentaron un olor aromático característico y transparencia definida. Color amarillo en los extractos de éter, verde oscuro en los extractos etanólicos y café rojizo en el extracto acuoso. No se observó presencia de precipitados en ninguna de las muestras analizadas, ni separación de fases. Sin embargo, en el extracto acuoso se observa una alta presencia de mucilagos, lo que le da al extracto una consistencia gelatinosa que dificulta su filtración.

Una vez obtenidos los extractos se realizaron los ensayos para la identificación de las principales familias de compuesto químicos. Los resultados muestran que no hay diferencias en las familias de compuestos encontrados entre los diferentes clones de hojas de maqui analizadas. Excepto para los azúcares reductores utilizando el ensayo Fehling en el extracto alcohólico (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Estudio fitoquímico en hojas de maqui de cinco clones

Extracto	Ensayo	Familia de Compuesto	Clones				
			PLG1	PLG2	PLG3	PLG4	PLG5
Etéreo	Sudan	Aceites y grasas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Dragendorff	Alcaloides	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Wagner	Alcaloides	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Liebermann-Buchard	Triterpenoides-esteroides	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Fehling	Azúcares reductores	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)
Alcohólico	Liebermann-Buchard	Triterpenoides-esteroides	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Espuma	Saponinas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Cl <sub>3</sub> Fe	Fenoles y taninos	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Shinoda	Flavonoides	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Dragendorff	Alcaloides	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Wagner	Alcaloides	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Dragendorff	Alcaloides	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Acuoso	Wagner	Alcaloides	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Cl <sub>3</sub> Fe	Fenoles y taninos	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Shinoda	Flavonoides	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Fehling	Azúcares reductores	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Mucilagos	Polisacáridos	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Espuma	Saponinas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

Los resultados se muestran como respuestas: positiva (+) indica presencia de familia de compuesto según ensayo mencionado, negativa (-) indica ausencia de familia de compuesto según ensayo mencionado.

Los extractos obtenidos con éter muestran que todos los clones en estudio dan reacción positiva a los aceites, grasas y alcaloides. En el caso de la reacción de Liebermann-Buchard la reacción dio color azul lo que indica presencia de estructuras esteroidales.

Los extractos alcohólico o etanólicos muestran la presencia de flavonoides, alcaloides y taninos del tipo pirogalotánicos por el desarrollo de coloración azul intensa en la reacción de cloruro de férrico. Los extractos acuosos, muestran la presencia de todas las familias de compuestos ensayadas con excepción de saponinas. Al igual que en el extracto etanólico, el cloruro férrico dio coloración azul intensa por lo que se asume presencia de taninos del tipo pirogalotánicos.

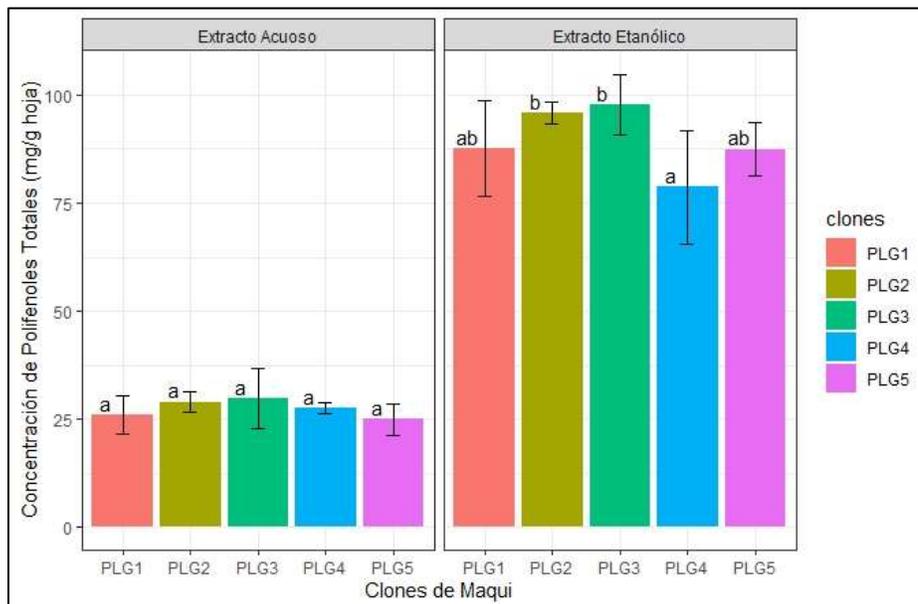
Todos los extractos mostraron la presencia de alcaloides y aunque aumenta el potencial tóxico de los extractos, son de gran interés farmacológico, alimenticio y cosmético.

### Selección del Tipo de Extracto y Clones de Hoja de Maqui

Se busca seleccionar un tipo de extracto y clones que demuestren los mejores resultados en los parámetros evaluados de Polifenoles totales y Capacidad antioxidantes, expresada como DPPH, para posteriormente continuar con la generación del prototipo de aditivo antioxidante. Los resultados se detallan en las Figura 2 y 3, respectivamente.

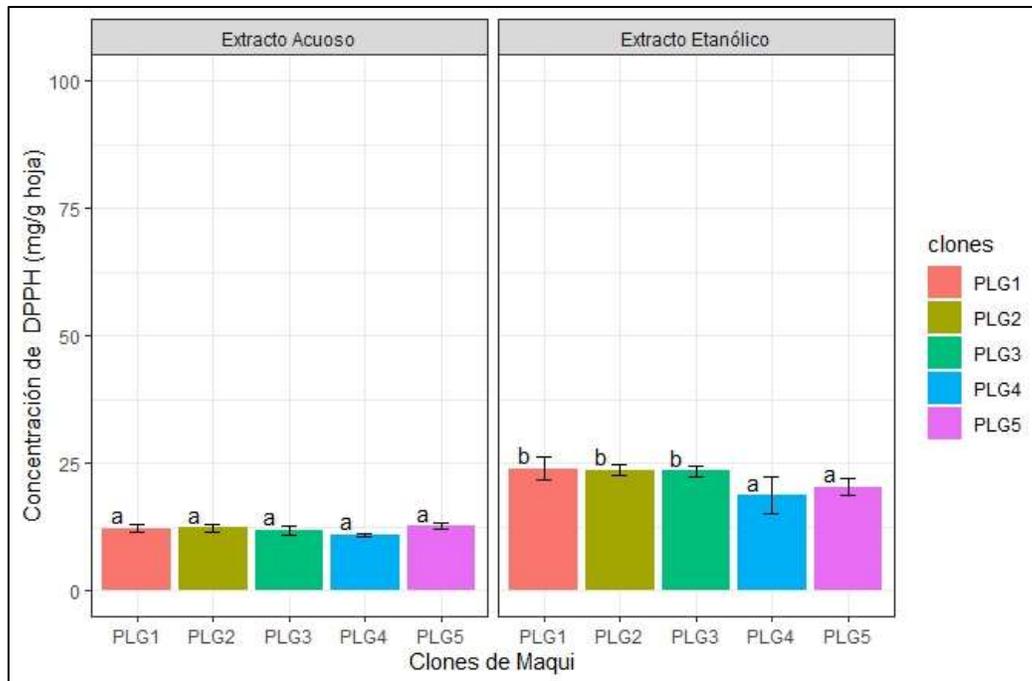
Respecto a los polifenoles totales presentados en la Figura 2, el análisis de las muestras del extracto acuoso indica que no hay diferencias entre los clones ( $p$ -valor = 0,470), pero que si existen estas diferencias en el extracto etanólico ( $p$ -valor = 0,006).

El análisis *post hoc* se realizó utilizando los Test de Rangos Múltiples - Prueba de Tukey. Se evidenció que los clones diferentes y superiores corresponden al PLG2 y PLG3 con 95,86 mg/g y 97,76 mg/g de hoja, respectivamente.



**Figura 2.** Concentración media de polifenoles totales en los clones analizados. (Letras distintas indican diferencias significativas, Prueba de Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

En la Figura 3, se muestra la capacidad inhibición de los oxidantes o capacidad antioxidante expresada en concentración de DPPH, al analizar las muestras del extracto acuoso se puede ver que no hay diferencias entre los 5 clones ( $p$ -valor = 0.104), pero que si existen estas diferencias en el extracto etanólico ( $p$ -valor = 0.04).



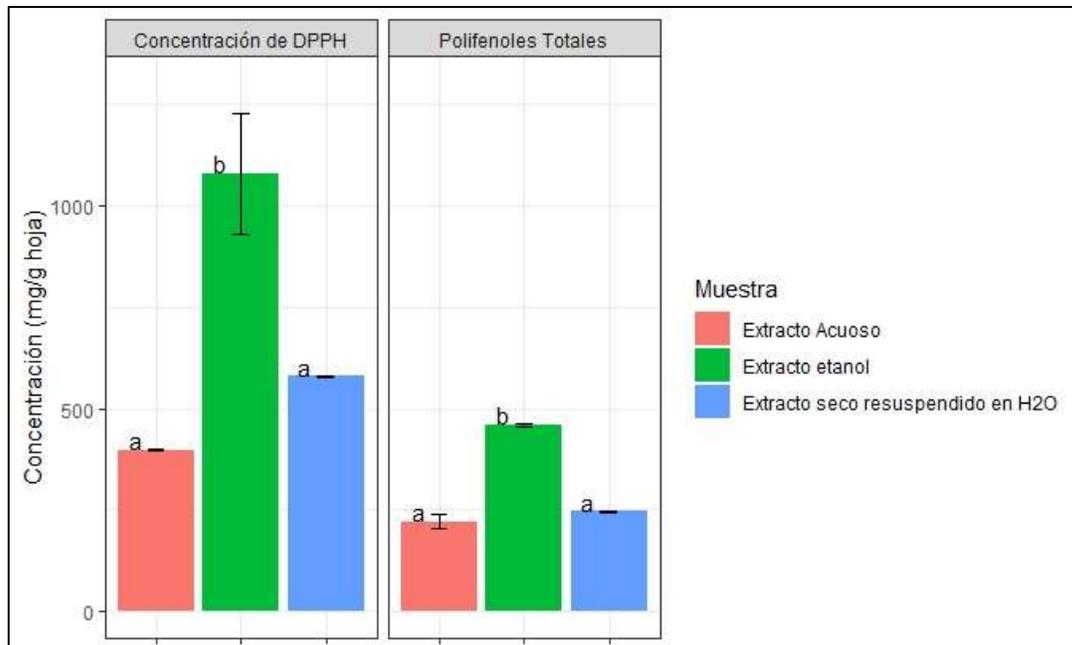
**Figura 3.** Concentración de DPPH equivalente a la capacidad antioxidante en los clones o capacidad de inhibición de los oxidantes analizados. (Letras distintas indican diferencias significativas, Prueba de Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

Para determinar aquellos que son significativamente diferentes unas de otras, se realizó los Tests de Rangos Múltiples- Prueba de Tukey. Se evidenció que los clones diferentes y superiores corresponden a PLG1, PLG2 y PLG3, presentando un mayor valor de inhibición.

De acuerdo con estos resultados se seleccionó el extracto etanólico y el clon PLG3.

### Cuantificación de Polifenoles Totales y DPPH en Extractos de Hoja de Maqui

Al comparar las concentraciones de polifenoles totales en el extracto seco resuspendido en agua con los extractos acuoso y etanólico del clon PLG3 (Figura 4), se observa que el tratamiento térmico disminuye la concentración de polifenoles totales en un 46% con respecto al extracto etanólico y que aumenta en un 11% con respecto al extracto acuoso. Del mismo modo, la capacidad antioxidante a través del DPPH del extracto seco resuspendido en agua, presenta una disminución en un 46% con relación al extracto etanólico y un aumento del 46% con el extracto acuoso. Por este motivo, la encapsulación del extracto se realizó con el extracto etanólico resuspendido en agua.



**Figura 4.** Concentración de polifenoles y DPPH en el clon seleccionado (PLG3). (Letras distintas indican diferencias significativas en las medias. Prueba de Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

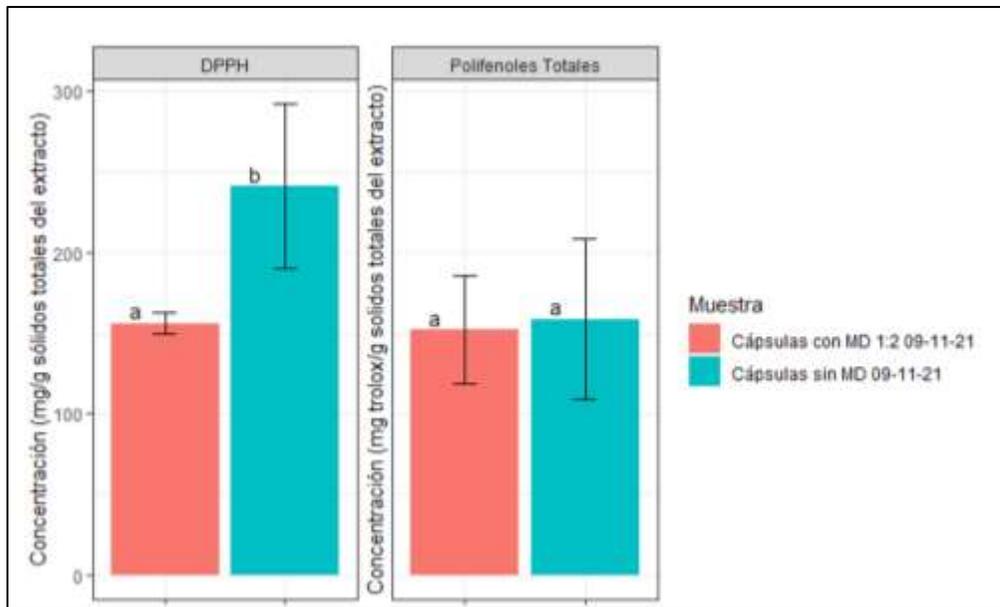
### Generación de Prototipo de Aditivo Antioxidante

El rendimiento del proceso fue del 68-70%, lo cual es aceptable, pero se puede mejorar optimizando las condiciones del mismo. El rendimiento del extracto sin material protector (sin maltodextrina) no alcanzó al 30%.

Para la generación del hito de obtención de 50 g de polvo de hojas de maqui, se resuspendió el extracto evaporado en 150 mL de agua, obteniendo alrededor de 4°Brix, por lo que fue necesario unos 3,7 L de muestra resuspendida. Adicionalmente, se evaluó el contenido de polifenoles totales (PT) y capacidad antioxidante (DPPH) del prototipo de aditivo antioxidante encapsulado con maltodextrina (MD) y sin maltodextrina. Los resultados se detallan en la Figura 5.

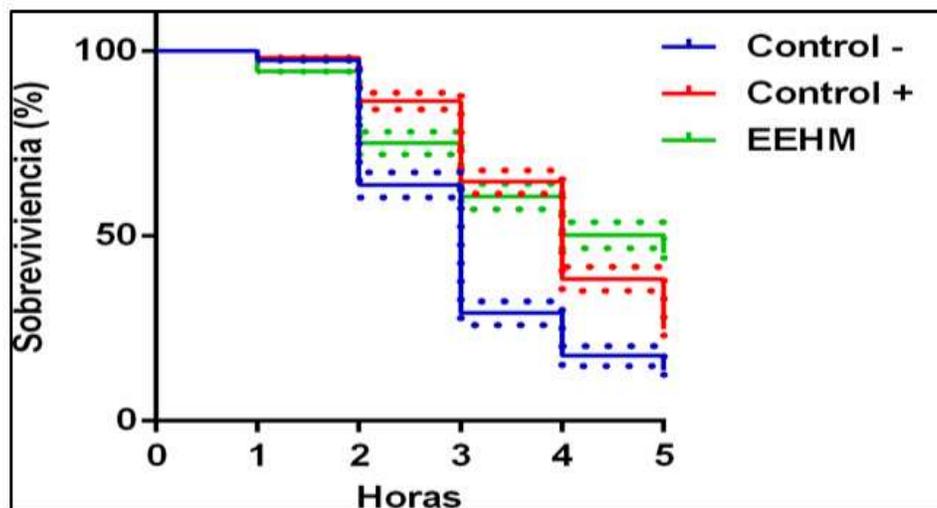
Al comparar los resultados de polifenoles totales y capacidad antioxidante DPPH entre las microcápsulas con y sin maltodextrina (MD) (Figura 5), se observa que hay igual concentración de PT en ambos formatos. En cuando a la capacidad antioxidante (DPPH) de observan diferencias, siendo el formato de microcápsulas sin MD el que presenta mayor concentración (Figura 5). Sin embargo, al considerar el rendimiento del proceso de secado, se evidencia un mayor rendimiento en las cápsulas con MD (68 al 70%), que en las cápsulas sin MD (30%). Por la tanto, el formato encapsulado con MD es seleccionado para la generación del prototipo de aditivo antioxidante.

Al comparar la concentración de polifenoles totales y capacidad antioxidante DPPH, entre el extracto seco resuspendido en agua (Figuras 3 y 4) y el extracto encapsulado con maltodextrina (Figura 5), se observa que el tratamiento térmico de secado por “spray”, disminuye la concentración de polifenoles totales y de DPPH en un 40% y 75%, respectivamente. Se evidencia una vez más el efecto del calor sobre las concentraciones de PT y DPPH. Por lo tanto, se hace necesario optimizar el proceso de secado para obtener una mayor concentración de compuestos antioxidante en el prototipo de aditivo.



**Figura 5.** Concentración de DPPH y polifenoles totales en extracto encapsulado con y sin maltodextrina (MD). (Letras distintas indican diferencias significativas en las medias, Prueba de Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

#### Evaluación *In Vivo* del Efecto Antioxidante del Extracto de Hoja de Maqui (PGL3)



**Figura 6.** Gráfico obtenido mediante el estimador Kaplan-Meier que mide la función de supervivencia acumulada en el tiempo. La línea verde corresponde a la muestra con el extracto seco resuspendido en H<sub>2</sub>O (EEHM). La línea azul corresponde a la muestra control sin el producto. La línea roja corresponde al control positivo con el antioxidante quercetina a una concentración de 200  $\mu$ M. Las líneas punteadas, corresponden al "Survival Probability Estimates" (SEM).

**Cuadro 4.** Efecto antioxidante del extracto etanólico de hoja de maqui en el modelo del nematodo *Caenorhabditis elegans*

Tratamientos	Concentración	Esperanza de vida media (h)	Supervivencia SEM (n)(*) (%)	Supervivencia sobre el control (%)	Significancia	p-value (**)
Control -	0	3	0,3221 (199)	NA	NA	N.A
Control +	200 µM	4	0,3214 (229)	20%	****	< 0,0001
EEHM	2,9 (mg/g sol. tot. extracto)	5	0,3511 (201)	40%	****	< 0,0001

(\*) Número de individuos. (\*\*) p-valor ≤ 0,05 log-rank. NA: No aplica. (\*\*\*\*) Muy significativo

Se observa diferencia significativa al comparar el extracto etanólico de hoja de maqui con la condición control, lo que se traduce en un 40% de aumento en la supervivencia de los nemátodos expuesto al agente estresor.

### Prototipo Etiquetado

Los resultados para el prototipo etiquetado, PLG3, se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Información nutricional, complementado con cantidad de polifenoles totales y DPPH, para el Clon PGL3

Porciones por envase: 100 g	
Energía (Kcal)	390,0
Proteínas (g)	0,7
Grasa total (g)	0,7
Hidratos de Carbono disponibles (g)	95,1
Azúcar total (g)	10,9
Sodio (mg)	7,9
Polifenoles totales (mg/g sólidos totales)	81,0
DPPH (mg de trolox/g sólidos totales)	75,0

## DISCUSIÓN

El objetivo de la primera fase del Programa de Mejoramiento Genético (PMG) de maqui de la empresa Plangen (Ipinza *et al.*, 2020), es aumentar la productividad frutal; por lo mismo el tamaño del fruto, la relación pulpa semilla y la tolerancia a plagas y enfermedades son las características más importantes. En una segunda etapa, una vez mejorada la productividad de la biomasa del fruto, los principales rasgos a mejorar son la cantidad de polifenoles y la capacidad antioxidante de los frutos.

Dada la riqueza de fitoquímicos bioactivos como alcaloides y polifenoles que presenta la planta de maqui, la cual está demostrada en más de 270 publicación científica sobre *Aristotelia chilensis* en el sistema SCOPUS (<https://www.scopus.com/sources.uri?zone=TopNavBar&origin=searchauthorfreelookup>), se abren muchas expectativas, en especial por el uso de las hojas, ya que están siempre disponible, por su característica de ser una especie perennifolia o siempreverde. Además, como lo ha demostrado Rubilar *et al.* (2011) y Muñoz *et al.* (2011) las hojas tienen un mayor contenido total de polifenoles y capacidad antioxidante que las bayas de maqui (Rivera-Tovar *et al.*, 2019). Es por esta razón que el programa de mejoramiento de la empresa Plangen propone utilizar las plantas de maqui en forma integral, usando los mejores clones productivos en relación al fruto, y que demuestran que sus hojas exhiben una gran

variabilidad en la cantidad de polifenoles y capacidad antioxidante, esto último es especialmente útil para la alimentación animal.

El programa de mejoramiento genético exhibe un enfoque bioeconómico, aborda la búsqueda de un procedimiento para utilizar las hojas, consideradas hasta la fecha como un desecho del cultivo industrial del maqui. De acuerdo a Vidal *et al.* (2013) la tecnología de la microencapsulación de concentrados de extracto de hojas es una apropiada alternativa para el aprovechamiento de estos compuestos bioactivos, permitiendo la diversificación productiva de los sistemas de aprovechamiento de esta especie.

El proceso se inicia considerando cinco clones selectos desde el punto de vista productivo de sus bayas y originados a través del Programa de Mejoramiento Genético de la empresa Plangen. A sus hojas frescas y sin evidencia de daño biótico, se las somete a un análisis físico-químico, fundamentalmente de la humedad y contenido de cenizas. En este trabajo se demuestra que tanto la humedad como las cenizas, están muy por debajo de los límites reglamentarios establecidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud), luego estos valores encontrados en las hojas frescas de maqui hacen que sea apropiadas, inicialmente, para la preparación de extractos y para su utilización como hoja en polvo, lo cual refrenda la capacidad del maqui de ser utilizado como suplemento alimenticio mediante un bajo nivel tecnológico.

Cada uno de los cinco clones fue sometido a tres extracciones sucesivas primero de éter etílico, etanol y finalmente de agua. Cada extracto y cada clon se sometió a una batería de pruebas fitoquímicas para determinar presencia o ausencia de: aceites y grasas, alcaloides, tri terpenos, azúcares reductores, saponinas, fenoles y taninos, flavonoides y polisacáridos, usando diferentes métodos de ensayo (Cuadro 3). Los resultados muestran que no hay diferencias en las familias de compuestos químicos encontrados entre los distintos clones de las hojas de maqui. Excepto para el contenido de azúcares reductores medido en el extracto alcohólico usando el método de ensayo Fehling. Se puede observar una ausencia en azúcares reductores en la mayoría de los clones, mientras que el Clon PLG3 presenta una respuesta positiva. Esto explicaría los ° Brix encontrados en la solución resuspendida en agua para la obtención de 50 g de polvo de hojas de maqui.

Luego se establecieron unas pruebas para elegir el mejor clon para ser utilizado en la generación del prototipo micro encapsulado, lo que implica un uso de la capacidad antioxidante del maqui con un mayor nivel tecnológico. Para cada clon se usaron dos extractos, acuoso y etanólico, y se cuantificó los polifenoles totales y su capacidad antioxidante. Para la concentración de polifenoles, el extracto etanólico presentó diferencias significativas en relación al acuoso. En el extracto etanólico el clon PLG3 es el que exhibe un mayor valor y esta concentración de polifenoles es de 97,76 mg/g de hoja. Por el contrario, el clon que presenta el menor valor corresponde al clon PGL4 con un valor de 78,65 mg/g de hoja, evidenciándose una diferencia de 19,11 mg/g de hoja.

En relación a la capacidad antioxidante, que mide el porcentaje de inhibición de los oxidante, medido en DPPH, el extracto etanólico fue mucho mayor que el acuoso. Dentro del extracto etanólico el clon con mayor DPPH es nuevamente el clon PGL3, con un valor de concentración de DPPH de 23,46 mg/g de hoja, contrario a los  $18,81 \pm 3,67$  exhibidos por el clon PGL4 siendo este el de menor rendimiento, con una diferencia de 4,65 mg/g de hoja.

La concentración de polifenoles totales en el clon PGL3 es en promedio 246,82 mg/ g de sólidos totales del extracto. La concentración de DPPH promedio en el mismo clon es de 579,34 mg trolox/ g sólidos totales del extracto.

Los resultados sugieren que existe una importante variabilidad en la cantidad de polifenoles totales y su capacidad antioxidante, lo cual es una oportunidad para el Programa de Mejoramiento Genético de la empresa Plangen de generar clones de alto rendimiento para estos compuestos químicos, cuyo interés radica particularmente en la alimentación animal, pero que también son útiles para el sector farmacológico, alimentario y cosmético, en general. Las empresas que componen estos sectores, alertadas por el demostrado potencial riesgo para la salud humana (citotoxicidad y carcinogénesis) de

algunos antioxidantes sintéticos, han renovado el interés industrial por la búsqueda y el desarrollo de sustancias antioxidantes, pero de origen natural (Stoia & Oancea, 2022).

Debido a que el prototipo requiere que la muestra se encuentre en medio acuoso para su posterior secado y que la mayor concentración de polifenoles y por ende de la actividad antioxidante también se encuentra en el extracto etanólico, se procede a secarla, obteniendo un polvo el cual es resuspendido en agua. Quispe-Fuente *et al.* (2018) demostraron que la aplicación de cualquier método de secado da como resultado un producto final con buenos niveles de compuestos fenólicos. En este punto es importante destacar que el tratamiento térmico disminuye la concentración de polifenoles y de DPPH en un 54%, sin embargo, pese a esta disminución sigue estando en un nivel superior en relación con el extracto acuoso.

Cuando se intenta conservar compuestos bioactivos termolábiles puede ser interesante utilizar la crioconcentración, que es una combinación de técnicas de congelación – centrifugación que permite obtener concentrados con un mayor contenido de compuestos bioactivos que los métodos tradicionales de concentración (Bastías *et al.*, 2019).

No obstante, para la generación del prototipo antioxidante se procedió a evaluar el proceso de secado en “spray”. Al considerar la temperatura de entrada al secador y la concentración de un agente protector de pared (la maltodextrina), el rendimiento del proceso considerando este material protector es del 68-70%. El rendimiento del extracto sin material protector, es decir sin maltodextrina, no alcanzó el 30%. Esto indudablemente permite un aumento de la capacidad antioxidante del prototipo.

También se investigó si este material protector tenía alguna influencia sobre el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante del material micro encapsulado. En el caso de la concentración de polifenoles en el extracto micro encapsulado, con o sin maltodextrina, se comprobó que no hay diferencias entre ambos factores. En cambio, en la capacidad de antioxidante, medida como concentración de DPPH en extracto encapsulado, la opción sin maltodextrina es la que presentó la mayor concentración.

Al considerar el rendimiento del proceso de secado se evidenció un mayor rendimiento en las microcápsulas con maltodextrina, siendo finalmente este protector el que se utiliza para la generación del prototipo con el clon PLG3.

Debido a los altos niveles de polifenoles totales y su capacidad antioxidante, el polvo de maqui se puede utilizar como ingrediente para la elaboración de productos cárnicos con etiqueta limpia (Velázquez *et al.*, 2022) y de esta forma reemplazar a los antioxidantes sintéticos. También Sette *et al.* (2022) indican que el polvo puede ser utilizado en forma directa como ingrediente para la elaboración de alimentos para diabéticos y mezclas sin gluten.

Para que esté completo el desarrollo del prototipo es necesario realizar una prueba *in vivo* del efecto antioxidante del extracto de la hoja de maqui, en este caso del clon PLG3. Para esta prueba se consideró el modelo biológico del nematodo *Caenorhabditis elegans*. La prueba consiste en someter al nemátodo a un estrés oxidativo mediante juglona al 20%.

El experimento indicó que el extracto resuspendido a 2,9 mg/g de sólidos totales, aumentó en un 40% la supervivencia de los nemátodos expuestos al agente oxidante, en relación al control, agregando así un control de calidad de los compuestos bioactivos de la hoja de maqui. Esta prueba es un importante indicador, ya que el nematodo se ha convertido en un sistema modelo animal muy estudiado, que posee elevada similitud con el genoma humano (40% de homología) y donde alrededor de 2/3 de los genes implicados en las enfermedades humanas están también presentes en el nematodo.

El prototipo es etiquetado mediante una caracterización química nutricional y los niveles finales de los polifenoles totales es de 81 mg/g de sólidos totales y su capacidad antioxidante expresada en DPPH es de 75 mg de trolox/g sólidos totales. Esta tecnología de microencapsulación es una alternativa muy promisoriosa para estabilizar factores de estrés y proteger ingredientes o aditivos alimentarios, que incluyen

principios bioactivos ambientalmente sensibles, en matrices protectoras para aumentar su funcionalidad y vida útil (Vidal *et al.*, 2013).

## CONCLUSIONES

El Programa de Mejoramiento Genético de maqui de la empresa Plangen permite un uso integral tanto de fruto como del material foliar.

Existen diferencias significativas en la cantidad de polifenoles totales y la capacidad antioxidante en los extractos foliares de los clones de maqui utilizados en este estudio. Siendo los extractos etanólicos los que permiten extraer la mayor cantidad de polifenoles y una mayor capacidad antioxidante.

Se logró generar un prototipo de aditivo antioxidante a partir de las hojas antes consideradas de desecho o descarte de maqui.

El prototipo fue generado y presenta actividad antioxidante tanto *in vitro* como *in vivo*.

Se observa que el tratamiento térmico de secado por “spray” disminuye la concentración de polifenoles y de DPPH en un 40% y un 75%, respectivamente. Por lo tanto, es imperativo investigar esquemas de optimización del proceso de secado, que permitan maximizar la cantidad de polifenoles totales y la capacidad antioxidante en las muestras.

La cantidad de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de muestras foliares de maqui generados en este estudio complementan el prototipo de etiquetado nutricional generado.

La generación de este prototipo abre interesantes perspectivas de uso de las hojas de maqui en la suplementación de la alimentación animal, en especial en el remplazo de antioxidantes sintéticos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores y Plangen agradecen el apoyo del Centro de Estudio en Ciencia y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Santiago por la elaboración del proyecto de investigación “Ingrediente Funcional a Partir de la Valorización de Desechos del Maqui”, código 21SNM-156860 - InnoVaChile CORFO de Marzo del 2022.

## REFERENCIAS

- Avello, M., Valladares, R. & Ordóñez, J. (2008). Capacidad antioxidante de *Aristolelia chilensis* (Molina) Stuntz. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 13(4). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-47962008000400002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962008000400002)
- Bastías-Montes, J.M., Choque-Chávez, M.C., Alarcón-Enos, J., Quevedo-León, R., Muñoz-Fariña, O. *et al.* (2019). Effect of spray drying at 150, 160, and 170 °C on the physical and chemical properties of maqui extract (*Aristolelia chilensis* (Molina) Stuntz). Chilean Journal of Agricultural Research, 79(1): 144-152. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000100144>
- Bianchi, A., Rivera-Tovar, P.R., Sanz, V., Ferreira-Anta, T., Torres, M.D. *et al.* (2021). Pressurized hot water extraction and bio-hydrogels formulation with *Aristolelia chilensis* (Mol.) Stuntz leaves. Molecules, 26(21) <https://doi.org/10.3390/molecules26216402>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food science and Technology, 28(1): 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

- Crisóstomo-Ayala K.A., Sabater-Jara A.B., Manriquez C.P., Ferreres F., Gil-Izquierdo A. et al. (2022).** Comparative study of metabolomic profile and antioxidant content of adult and *in vitro* leaves of *Aristolelia chilensis*. *Plants*, 11 (1), art. no. 37. <https://doi.org/10.3390/plants11010037>
- Delporte, C. (2006).** Determinación de las actividades antiinflamatorias, analgésicas, antioxidantes y antimicrobianas de las hojas de *Aristolelia chilensis* (Maqui). Identificación de los compuestos activos. Resúmenes del Primer Simposio Internacional de Plantas Medicinales y Aromáticas: Materia Primas, Puntos Críticos y Rol de Las Universidades. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 5, 135–136.
- Fredes, C., Parada, A. & Robert, P. (2020).** Química del maqui. En: Salinas, S. & Caballé, G. (Eds). *Maqui el fruto silvestre de mayor importancia en Chile*. Instituto Forestal. Capítulo 8. Pp: 196-232.
- Goupy, P., Dufour, C., Loonis, M. & Dangle, O. (2003).** Quantitative kinetic analysis of hydrogen transfer reactions from dietary polyphenols to the DPPH radical. *J. Agric. Food Chem*, N° 51. Pp: 615-622. <https://doi.org/10.1021/jf025938f>
- Koch, K., Havermann, S., Büchter, C. & Wätjen, W. (2014).** *Caenorhabditis elegans* as Model System in Pharmacology and Toxicology: Effects of Flavonoids on Redox Sensitive Signalling Pathways and Ageing. *The Scientific World Journal*, vol. 2014:920398, 15. <https://doi.org/10.1155/2014/920398>
- Ipinza, R., Gutiérrez, B., Magni, C., Molina, M. P & Espejo, J. (2020).** La Domesticación del Maqui, un estudio de caso en Chile. En: Salinas, S. & Caballé, G. (Eds). *Maqui el fruto silvestre de mayor importancia en Chile*. Instituto Forestal. Capítulo 4. Pp: 106-144.
- Muñoz, O., Christen, P., Cretton, S., Backhouse, N., Torres, V. et al. (2011).** Chemical study and anti-inflammatory, analgesic and antioxidant activities of the leaves of *Aristolelia chilensis* (Mol.) Stuntz, Elaeocarpaceae. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 63(6): 849–859. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.2011.01280.x>
- Olsen, A., Vantipalli, M.C. & Lithgow, G.J. (2006).** Using *Caenorhabditis elegans* as a model for aging and age-related diseases. *Ann N Y Acad Sci*.1067:120-8. <https://doi.org/10.1196/annals.1354.015>
- Quispe-Fuentes, I., Vega-Gálvez, A. & Aranda, M. (2018).** Evaluation of phenolic profiles and antioxidant capacity of Maqui (*Aristolelia chilensis*) berries and their relationships to drying methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11): 4168-4176. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8938>
- Rivera-Tovar, P.R., Mariotti-Celis, M.S., & Pérez-Correa, J.R. (2019).** Maqui (*Aristolelia chilensis* (Mol.) Stuntz) and Murta (*Ugni molinae* Turcz): Native Chilean sources of polyphenol compounds. *Mini-Reviews in Organic Chemistry*, 16(3): 261-276. <https://doi.org/10.2174/1570193X15666180627120609>
- Rubilar, M., Jara, C., Poo, Y., Acevedo, F., Gutierrez, C., Sineiro, J. et al. (2011).** Extracts of Maqui (*Aristolelia chilensis*) and Murta (*Ugni molinae* Turcz.): Sources of antioxidant compounds and  $\alpha$ -glucosidase/ $\alpha$ -amylase inhibitors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(5): 1630-1637. <https://doi.org/10.1021/jf103461k>
- Senchuk, M.M., Dues, D. J. & Van Raamsdonk, J. M. (2017).** Measuring Oxidative Stress in: Paraquat and Juglone Sensitivity Assays. *Bio-protocol* 7(1): e2086. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.2086>
- Sette, P., Garrido Makinistian, F., Maturano, C. & Salvatori, D. (2022).** Particulate systems from maqui (*Aristolelia chilensis*) wastes to be used as nutraceuticals or high value-added ingredients. *Drying Technology*, 40(13), 2669-2684. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1953521>
- Singleton, V. L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventos, R. (1999).** Analysis of total phenols and other oxidation substrates antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Meth. Enzymol*, N° 299. Pp: 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Stiernagle, T. (2006).** Maintenance of *C. elegans*. *WormBook*. 11, 1-11. 10. <https://doi.org/10.1895/wormbook.1.101.1>
- Stoia, M. and Oancea, S. (2022).** Low-Molecular-Weight Synthetic Antioxidants: Classification, Pharmacological Profile, Effectiveness and Trends. *Antioxidants (Basilea)*. 11(4): 638. <https://doi.org/10.3390/antiox11040638>

- Velázquez, L., Quiñones, J., Inostroza, K., Sepúlveda, G., Díaz, R., et al. (2022).** Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz): A natural antioxidant to improve quality of meat patties. *Antioxidants*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/antiox11071405>
- Vidal, J. L., Avello, L. M., Loyola, C., C., Campos, P. J., Aqueveque, M. P. et al. (2013).** Microencapsulation of Maqui (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) leaf extracts to preserve and control antioxidant properties. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(1): 17–23. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000100003>
- Zúñiga, G. E., Tapia, A., Arenas, A., Contreras, R. & Zúñiga-Libano, G. (2017).** Phytochemistry and biological properties of *Aristotelia chilensis* a Chilean Blackberry: A review. *Phytochemistry Reviews*, 16(5): 1081-1094. <https://doi.org/10.1007/s11101-017-9533-1>





---

ARTÍCULO

## Crecimiento *in vitro* de cuatro cepas de *Lactarius deliciosus* bajo diferentes niveles de pH y medios de cultivo.

Patricio Chung Guin-Po<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, sede Biobío. [patricio.chung@infor.cl](mailto:patricio.chung@infor.cl)

\*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.575>

Recibido: 02.12.2022; Aceptado 16.12.2022

---

### RESUMEN

Se analiza el comportamiento *in vitro* de 4 cepas de *Lactarius deliciosus*, hongo comestible asociado a plantaciones de *Pinus radiata*. Se evaluó el crecimiento radial (CR), la velocidad media de crecimiento (VMC) y la producción de biomasa (B) para cultivos creciendo *in vitro* en los medios PDA (Papa Dextrosa Agar), MNM (Medio Melin-Norkrans) y BAF (Biotina Aneurina ácido Fólico), bajo 5 niveles de pH (4,8, 5,3, 5,8, 6,3 y 6,8). A nivel de cepas, el análisis estadístico de las variables estudiadas indica interacciones entre los factores medio de cultivo y pH, con variaciones en la significancia en las respuestas obtenidas. Los mayores valores medios de CR, VMC y B se presentaron en el medio BAF y niveles de pH entre 5,3 y 6,8, pero con respuestas estadísticas de significancia variables dependiendo de la cepa analizada. Comparaciones entre las variables CR, VCM y de B, muestran una alta correlación entre ellas para las cepas estudiadas.

**Palabras clave:** *Lactarius deliciosus*, cepas, pruebas de crecimiento, *in vitro*

### SUMMARY

The *in vitro* behavior of 4 strains of *Lactarius deliciosus*, an edible fungus associated with *Pinus radiata* plantations was analyzed. Radial growth (RC), mean growth rate (MGR) and biomass production (B) were evaluated for cultures growing *in vitro* on PDA (Papa Dextrose Agar), MNM (Melin-Norkrans medium) and BAF (Biotin Aneurin Folic Acid) media, under 5 pH levels (4.8, 5.3, 5.8, 6.3 and 6.8). At the strain level, the statistical analysis of the variables studied indicated interactions between the factors culture medium and pH, with variations in the significance of the responses obtained. The highest mean values of CR, VMC and B were presented in BAF medium and pH levels between 5.3 and 6.8, but with statistical responses of varying significance depending on the strain analyzed. Comparisons between CR, VCM and B variables show a high correlation between them for the strains studied.

**Key words:** *Lactarius deliciosus*, strains, growth testing, *in vitro*

---

## INTRODUCCIÓN

Hace miles de años que los recursos micológicos presentes en los bosques comenzaron a ser utilizados por los pueblos originarios para su alimentación. En la actualidad es una práctica que se ha masificado en muchas zonas del país con masas forestales, y donde los hongos comestibles constituyen un recurso natural de gran importancia económica y social.

Los hongos comestibles presentes en los bosques de Chile representan un valioso producto forestal no maderero, cuya recolección genera empleo y alimentación. Por lo mismo, el recurso ha adquirido gran importancia en las zonas rurales, gracias a una demanda creciente de productos naturales de tipo orgánico y de características funcionales.

A nivel mundial se ha descrito del orden de 100.000 especies de hongos (Hawksworth, 2001), de un total estimado de entre 2,2 y 3,8 millones (Hawksworth & Luecking, 2017). Dentro de estos, se han descrito científicamente más de 2.000 especies de hongos comestibles (Boa, 2004). En Chile se han registrado más de 3.000 especies de hongos (Mujica & Vergara, 1980), identificándose unas 53 especies de hongos silvestres comestibles (Valenzuela, 2003), cifras que pudieran ser mucho mayores en la actualidad.

La diversidad de especies comestibles aumentó con la introducción de la especie maderera *Pinus radiata*, bajo cuyo dosel se desarrolla una variedad de hongos simbioses comestibles, entre los cuales destacan los de los géneros *Suillus* y *Lactarius*. Estas ectomicorrizas acompañantes del pino han sido, y siguen siéndolo, de gran importancia en el contexto social y económico de muchas familias rurales, representando en la actualidad para el país exportaciones comerciales por varios millones de dólares.

Uno de los recursos micológicos de gran valor social, comercial y culinario dentro de las plantaciones de pino es el hongo ectomicorrízico comestible *Lactarius deliciosus*, especie muy demandada en los mercados europeos, asiáticos y de África del Norte, lo que ha generado una importante fuente de ingresos para los recolectores perteneciente a estos continentes (Boa, 2004) como de otras zonas del Hemisferio Sur. Para el caso de Chile, este recurso micológico reportó en el año 2021 exportaciones por US\$ 581.844 FOB, derivados de 231 toneladas exportadas a distintos mercados, mayoritariamente al español (INFOR, 2022), siendo el formato principal de exportación el salmuerado, y lo que resta como producto congelado. Claramente, el potencial para producir este hongo en Chile, como un nuevo alimento para el mercado doméstico y, lo que es más importante, para los mercados del Hemisferio Norte fuera de temporada, es considerable (Voces *et al.*, 2009). Desde esta perspectiva es un hongo que puede entregar valor agregado al bosque, siendo necesario entonces, conocer y caracterizar su comportamiento en laboratorio, y posteriormente, en las inoculaciones en viveros (Chávez *et al.*, 2009).

*Lactarius deliciosus* es uno de las pocas especies del hemisferio norte que se introdujo accidentalmente al hemisferio sur y que ahora se encuentra muy extendida en Australia, Chile y Sudáfrica (Wang *et al.*, 2021). En Nueva Zelanda este hongo fue introducido en 2007 para el desarrollo de su cultivo asociado a plantaciones de *Pinus radiata* (Guerin *et al.*, 2014). Sus esporocarpos generalmente se recolectan en rodales jóvenes, siendo un miembro típico de las primeras etapas de sucesión (Ortega-Martínez *et al.*, 2011). Se trata de un hongo ectomicorrízico presente solo en bosques con pináceas (Nuytinck y Verbeke, 2007), cuya proliferación de cuerpos fructíferos sucede principalmente en los meses de otoño, aunque podrían aparecer también en menor medida en la época de primavera, cuando las condiciones ambientales permiten su desarrollo. Además de su importancia económica como PFNM, posee como todo hongo micorrízico una importancia ecológica dentro de los ecosistemas forestales, por lo que cualquier actividad dentro del bosque o eventos que sean causados en forma natural o antrópica y que pudieran producir alteraciones en el suelo y en el bosque, tendrían un importante impacto en la supervivencia y fructificación de estos hongos.

La simbiosis establecida entre hongos y especies forestales constituye una ventajosa oportunidad para implementar líneas de investigación y desarrollo innovativos, que conjuguen la recuperación de suelos degradados, la restauración y enriquecimiento del bosque, mejorando el desempeño de las plantaciones, con la generación de productos intermedios de alto valor económico, ecológico y social, como son los hongos ectomicorrízicos comestibles, no obstante, su producción natural en el bosque es variable, de modo que el interés por obtener una producción alta y estable, ha motivado iniciativas para cultivarlos mediante el establecimiento de plantas inoculadas con cepas adaptadas a condiciones medioambientales específicas (Chung, 2020). En varios países se han desarrollado trabajos con *L. deliciosus*, entre ellos, en Nueva Zelanda (Wang *et al.*, 2001) y Francia (Wang *et al.*, 2012) se introdujo la especie con miras a determinar cepas ideales para realizar la micorrización de *Pinus radiata* y otras especies y su posterior establecimiento en plantaciones.

En lo que respecta a la simbiosis micorrízica, esta es una estrategia nutricional que han desarrollado la mayoría de las plantas y algunos hongos, que les asegura un beneficio mutuo. La mayor supervivencia en campo de plantas bien micorrizadas, respecto de las que no lo están, especialmente en condiciones difíciles, es un factor que define la importancia de una adecuada micorrización en vivero. La adecuada selección de hongos y la posterior manipulación biotecnológica de las micorrizas permite obtener plantas

forestales de calidad, por lo que las plantas sometidas a micorrización controlada aumentan sustancialmente su viabilidad, generando otra alternativa productiva dada por la producción de hongos silvestres comestibles de alto valor.

Las micorrizas (*mycos*=hongo, *rhiza*=raíz) constituyen entidades simbióticas entre un hongo y las raíces de una planta. El nombre fue dado por el botánico alemán Frank en 1885, aunque estas asociaciones fueron estudiadas a partir de 1910, y gracias a trabajos realizados por Mosse, en 1955, comienzan en estudios relacionados al crecimiento de vegetales e interacciones que se suceden con otros organismos del suelo (Vasco, 2003).

Se estima que alrededor del 95% de las plantas vasculares participan en este tipo de asociaciones, existiendo algunas excepciones que no llegan a formar simbiosis (Honrubia *et al*, 1992). Esta asociación simbiótica raíz-hongo es el resultado de la evolución conjunta entre plantas y hongos, siendo las micorrizas una norma en la nutrición de la mayoría de las plantas terrestres y no algo excepcional (Trappe, 1977, 1987; Brundrett y Cairney, 2002).

Las micorrizas se clasifican en varios grupos, siendo una de ellas las ectomicorrizas. Dentro de estas últimas se ubica el género *Lactarius*, que forma una relación mutualista principalmente con las raíces de plantas del género *Pinus*. Esta se forma predominantemente sobre las puntas de las raíces finas del hospedante, distribuyéndose irregularmente a través del perfil del suelo, siendo más abundante en las capas superiores del suelo con mayor contenido de humus, que en las capas bajo el suelo mineral (Brundrett *et al*, 1996) y donde presta una importante función en el ciclo de nutrientes de los ecosistemas forestales.

Gracias a su extensa red de micelios, las micorrizas funcionan como un sistema de absorción que se extiende por el suelo proporcionando a las plantas agua y nutrientes como nitrógeno y fósforo; por su parte, el hongo recibe azúcares y carbohidratos provenientes de la fotosíntesis efectuada por la planta. La presencia de micorrizas aumenta la resistencia de las plantas a situaciones extremas como la sequía, temperaturas extremas del suelo, valores extremos de pH y brinda protección frente al ataque de hongos patógenos, áfidos y nemátodos. Adicionalmente, estos hongos simbiotes proporcionan hormonas estimulantes del crecimiento y permite una mayor longevidad de las raíces (Slankis, 1973; *cit. por* Ipinza y Serrano, 1982).

Para determinar las condiciones ideales para que se establezca y desarrolle el hongo en conjunto con la planta, se ha hecho necesario una serie de investigaciones en torno al desarrollo de una planta ideal inoculada con el hongo, que pueda desarrollar esta simbiosis previo y posterior a las labores de plantación conjuntamente con el desarrollo de hongos comestibles.

Para realizar los trabajos de inoculación de plantas en vivero con hongos ectomicorrícicos específicos, se deben ejecutar un gran número de investigaciones para desarrollar protocolos que permitan el contacto y una exitosa unión hongo-planta dando lugar a las formaciones ectomicorrícicas. Para ello, uno de los aspectos de importancia, es la elaboración del material inoculante, y dentro de este, definir la cepa del hongo previamente seleccionada y masificada bajo parámetros ambientales y químicos fijados en laboratorio, como son el pH y la disponibilidad de nutriente.

Para la selección de las cepas, se hace imprescindible contar con un banco de cultivos puros desde donde poder abastecerse y seleccionar material de acuerdo a características específicas de uso. Para este efecto, el Instituto Forestal ha establecido un banco de cepas donde mantiene diversos hongos y cepas, para generar inoculantes fúngicos que puedan ser utilizados para mejorar la rentabilidad de plantaciones forestales a través de una producción de hongos ectomicorrícicos comestibles de alto valor social y económico.

Por lo tanto, para los trabajos de inoculación, con hongos micorrícicos, se requiere de inoculantes fúngicos a gran escala, por estas razones es necesario definir la composición óptima del medio de cultivo para cada hongo tomando en cuenta las diferentes cepas y una gran variación de condiciones del suelo (Islam y Ohga, 2013).

El presente trabajo analiza el desempeño de 4 cepas de *Lactarius deliciosus* bajo diferentes condiciones controladas de cultivo *in vitro*, evaluando el efecto de 3 medios de cultivo (PDA, MMN y BAF) y 5 niveles de pH (4,8, 5,3, 5,8, 6,3 y 6,8), sobre el crecimiento radial, velocidad media de crecimiento y biomasa producida por cada una de las cepas evaluadas de esta especie. Con esto se pretende mejorar el conocimiento que permita optimizar el desarrollo de cultivos en laboratorio, para posteriormente continuar con los trabajos en vivero y en campo.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se utilizó 4 cepas de *Lactarius deliciosus* (Figura 1), procedentes del Banco de Cepas del Instituto Forestal de Chile (INFOR) y cuyo material fue colectado desde plantaciones de *Pinus radiata* en diferentes regiones del país (Cuadro 1).

Los cultivos puros fueron obtenidos de acuerdo a la técnica descrita por [Molina y Palmer \(1982\)](#), a partir del sombrero de un esporocarpo joven y cultivados sobre medio PDA (Extracto de papa dextrosa agar), bajo oscuridad y a temperatura de 23°C.



**Figura 1.** Fructificación de *Lactarius deliciosus* en bosque de pino (*Pinus radiata*)

El material original aislado de cada cepa fue masificado en discos de Petri con medio que contenía 4 g. de extracto de papa, 20 g. de dextrosa y 15 g. de agar a pH 5.6 incubados a 23°C en oscuridad. Para ello, se extrajo desde el material original discos de 5 mm, los que fueron puestos por 30 días en el centro de placas Petri conteniendo 20 ml del medio nutritivo. Durante este período se generó suficiente tejido micelial para ser utilizados en la instalación del estudio.

Para instalar el estudio, se usó los medios extracto de papa-dextrosa-agar (PDA) (Difco, Becton Dickinson and Company, USA), Melin-Norkrans (MMN) ([Marx, 1969](#)) y Biotina–Aneurina–Ácido Fólico (BAF) ([Moser, 1960](#)). Cada medio se ajustó a 5 valores de pH (4,8, 5,3, 5,8, 6,3 y 6,8). Se evaluó el comportamiento de cada cepa en relación a su crecimiento radial (CR) en milímetros, velocidad media de crecimiento (VMC) en milímetros por día y producción de biomasa (B) en mg al finalizar el ensayo, en cada una de las combinaciones de medio y pH descritas. Se usó cinco repeticiones (placas) por cada tratamiento.

**Cuadro 1.** Identificación y punto de recolección de las cepas de *Lactarius deliciosus* usadas en el estudio

Código Cepa	Comuna	Lat S; Long O;	Altitud	Tipo de suelo	Edad rodal (años)
IF725004	Constitución, Maule	35°32'11"; 72°17'32";	353	Franco arcilloso	25
IF1608006	Cobquecura, Ñuble	36°10'28"; 72°40'06";	554	Franco arcilloso arenoso	10
IF914002	Collipulli, Araucanía	37°56'50"; 72°27'07";	242	Arcillo limoso	20
IF936001	Nueva Imperial, Araucanía	38°41'24"; 73°05'21";	71	Franco limoso	18

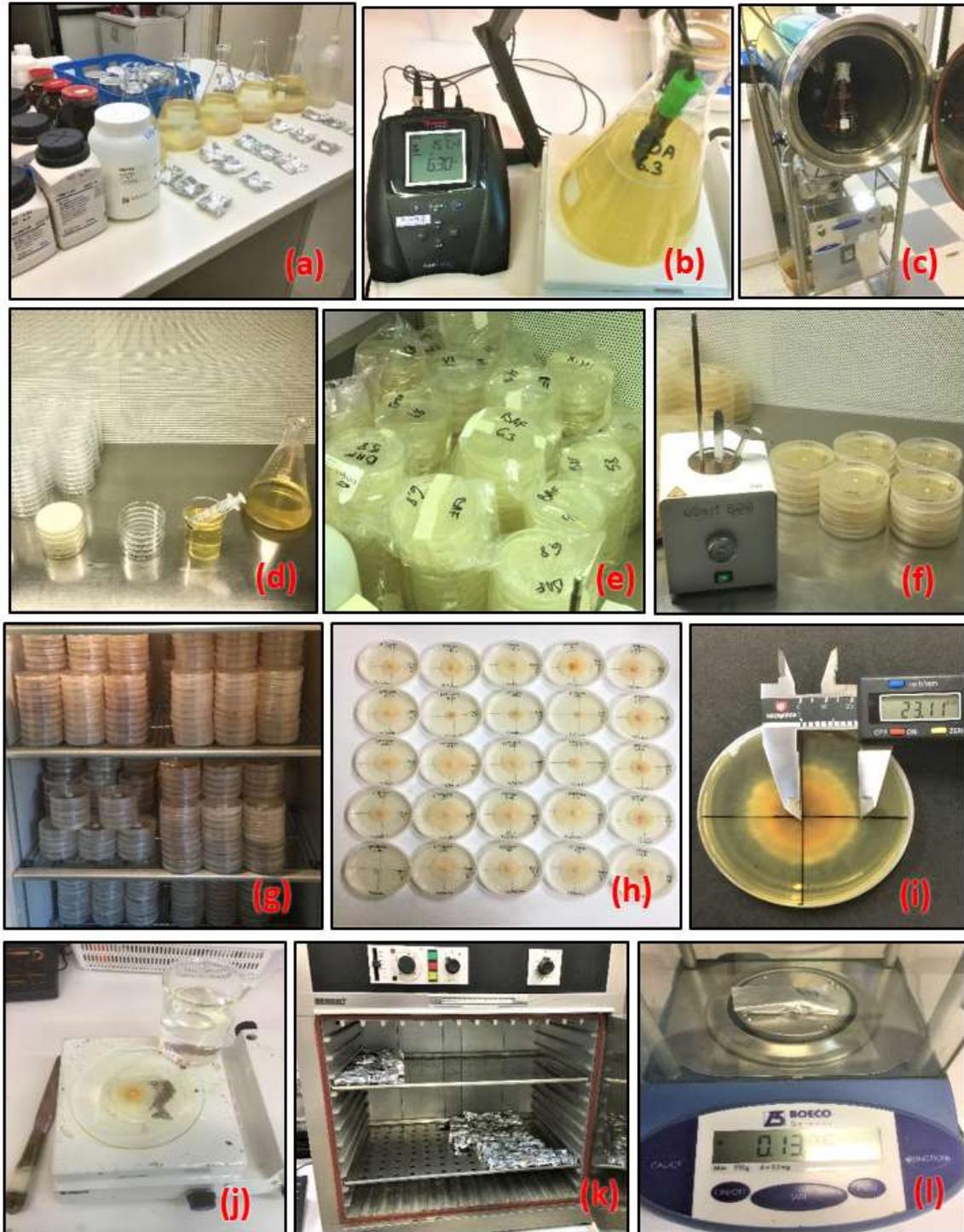
Los medios de cultivos se esterilizaron en autoclave a 121°C y 1,2 atm de presión por 30 minutos, ajustando previamente sus valores respectivos de pH con HCL o KOH 1N y con mediciones realizadas con un peachímetro marca Thermo Scientific Orion modelo Star A111. Finalizado el proceso de esterilización, los medios fueron llevados a una Cámara de Flujo Laminar marca Filtromet modelo H24302, de fabricación nacional, donde se realizó el vaciado de los medios de cultivo a placas de Petri de 90 x 15 mm, ayudados por una jeringa de 25 ml, colocando 20 ml de medio en cada placa. Posteriormente, se dejaron enfriar en ambiente estéril hasta su uso. El proceso de inoculación de los medios con las cepas de *Lactarius deliciosus* se realizó con la ayuda de un sacabocado que permitió obtener segmentos circulares de 5 mm de diámetro desde los recipientes que contenían el material miceliar madre. Cada segmento fue colocado en el centro de una placa de Petri para cada uno de los tratamientos, procediendo luego a sellarlos con cintas de parafilm y posteriormente ser marcados con el nombre de la especie, código de cepa, número de repetición, medio de cultivo, nivel de pH y fecha de instalación. Una vez finalizada la operación de instalación de los ensayos con los segmentos miceliares respectivos, estos se ubicaron en una Cámara de Crecimiento marca Forma Scientific modelo 3744, en oscuridad y a 24°C de temperatura por 35 días.

Para medir el crecimiento radial (CR) se usó un pie de metro digital marca Ubermann. Cada medición radial se realizó en 4 direcciones a partir del centro donde se ubicó el disco de micelio, registrándose el crecimiento de las cepas en cada uno de los discos de cada tratamiento cada 7 días por un lapso de 35 días. Para obtener el crecimiento cada 7 días y el CR total de cada disco de Petri con los tratamientos respectivos, a cada una de ellas se le descontó el radio correspondiente al segmento de agar circular de 5 mm de diámetro que se utilizó para realizar la inoculación.

Para obtener los valores de biomasa (B) al final del período de evaluación, se extrajo desde los discos de Petri el micelio obtenido junto con el medio con agar. Para eliminar el agar se aplicó la metodología utilizada por [Santiago-Martínez et al. \(2003\)](#), que consiste en eliminar el agar por calentamiento en baño maría y luego enjuagar la colonia con agua caliente, para posteriormente secar en estufa a 60°C por 48 horas hasta peso constante. Luego se procedió a pesar cada muestra, descontando el peso del papel y del material inicial utilizado como inóculo, obteniendo finalmente la biomasa seca producida en cada tratamiento (Figura 2).

Para determinar la velocidad media de crecimiento (VMC) de las cepas, los datos de crecimiento radial cada 7 días por 35 días, se ajustaron mediante una ecuación de regresión para calcular la pendiente de la curva de crecimiento y obtener el promedio de crecimiento del hongo por día ([Santiago-Martínez et al., 1995](#)).

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente aleatorizado, con 5 repeticiones para cada unidad experimental. Los resultados se evaluaron mediante análisis de varianza (ANDEVA), utilizando para ello, el software estadístico INFOSTAT versión 2015p. La homogeneidad de varianza se evaluó mediante la prueba de Levene ( $P \leq 0,05$ ). En tanto que el supuesto de normalidad de los residuos se evaluó a través de la prueba de Shapiro-Wilks ( $P \leq 0,05$ ). Para detectar diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ([Montgomery, 1984](#)), con  $P \leq 0,05$ .



**Figura 2.** (a) Confección de medios de cultivo; (b) Ajuste de valores de pH; (c) Esterilización de medios de cultivo en autoclave; (d) Vaciado de medios de cultivo en placas de Petri; (e) almacenaje de medios en placas de Petri; (f) Instalación de ensayo con sacabocado; (g) Ensayo instalado bajo oscuridad y 24±1 °C; (h) Aspecto crecimiento de cepa de *Lactarius deliciosus* en medio BAF y bajo distintos niveles de pH; (i) Medición de crecimiento radial de cepas; (j) Limpieza de tejido micelia de medio de cultivo; (k) Secado en estufa por 48 horas a 60°C de tejido miceliar; (l) Pesaje para determinar biomasa producida por cada uno de los tratamientos

## RESULTADOS

### A Nivel de Cepas

Las cepas IF1608006, procedente de la región de Ñuble, e IF725004, procedente de la región del Maule, muestran interacciones significativas entre los factores medio de cultivo y nivel de pH con efectos sobre las variables CR, VMC y B. En las cepas procedentes de la Araucanía existe interacción entre los dos factores evaluados sólo para las variables CR y VMC (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Significancia estadística del análisis de varianza (ANDEVA) para los valores medios obtenidos de las variables crecimiento radial, velocidad media de crecimiento y biomasa para cepas de *Suillus luteus*. \* Efectos significativos ( $P \leq 0,05$ )

Cepa	Factor	Crecimiento Radial	Velocidad Media de Crecimiento	Biomasa Seca
IF1608006 (Ñuble)	Medio	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
	pH	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
	Medio x pH	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
IF725004 (Maule)	Medio	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
	pH	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
	Medio x pH	0,0044**	0,0026**	<0,0002**
IF914002 (Araucanía)	Medio	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
	pH	<0,0001**	<0,0001**	0,0080**
	Medio x pH	<0,0001**	<0,0001**	0,0598
IF936001 (Araucanía)	Medio	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
	pH	<0,0001**	<0,0001**	<0,0079**
	Medio x pH	<0,0001**	<0,0001**	0,2860

- *Crecimiento radial*

La cepa IF725004 exhibe mayor crecimiento en el medio BAF con pH igual o superior a 5,3, siendo su mejor desempeño con pH 6,8 ( $16,97 \pm 0,79$  mm), y con diferencias significativas con el crecimiento obtenido a pH 4,8, como también con los demás medios de cultivo. Los valores promedios significativamente más bajos fueron en medio MMN, sin diferenciarse entre los niveles de pH, y sólo superando al crecimiento más bajo entregado por el medio PDA a pH 4,8 (Cuadro 3).

En la cepa IF1608006 el mayor crecimiento fue en los medios BAF (pH 5,3 a 6,3) y MMN (pH 6,3 y 6,8), sin diferenciarse estadísticamente entre ellos. Los montos más altos se logran en el medio BAF con pH 6,3 y MMN con pH 6,8, con valores de  $10,42 \pm 0,77$  y  $10,34 \pm 0,82$  mm, respectivamente. Los crecimientos radiales más bajos y sin diferencias significativas entre ellos, fueron obtenidos en los tres medios de cultivo con pH 4,8, como también el medio PDA con pH 5,3 y 6,8 (Cuadro 3).

En la cepa IF914002 los mayores crecimientos radiales se obtuvieron para los medios BAF y PDA con pH entre 5,3 y 6,8 para el primero, y de 5,8 a 6,3 para el segundo. Los valores promedios de CR para los medios antes señalados y dentro de los rangos de pH mencionados, no presentaron diferencias significativas entre ellos, obteniendo un valor máximo de  $15,07 \pm 3,21$  mm en el medio BAF, con pH de 6,3. Los valores menores y que no presentaron diferencias significativas entre sí fueron obtenidos en el medio PDA a pH 4,8 y 5,3, como también en el medio MMN para un rango de pH entre 4,8 y 6,3 (Cuadro 3).

En relación a la cepa IF936001, las respuestas más favorables en crecimiento radial lo presentaron los medios BAF y PDA con pH entre 5,3 y 6,8, junto al medio MMN con pH de 5,8, con valores promedios que no presentan diferencias significativas entre ellos, con un máximo valor de  $17,54 \pm 3,80$  mm para el medio BAF a pH 5,3. El menor valor lo presentó el medio MMN con pH igual o menor a 5,3 (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Efecto de los factores medio de cultivo y nivel de pH sobre los valores medios y sus desviaciones estándar obtenidos para las variables crecimiento radial, velocidad media de crecimiento y biomasa para cepas de *Lactarius deliciosus*

Cepa	Factores			Crecimiento radial (mm)				Velocidad media de crecimiento (mm/día)				Biomasa Seca (mg)							
	Medio	pH	Medio x pH	Cepa	Medio	pH	Medio x pH	Cepa	Medio	pH	Medio x pH	Cepa	Medio	pH	Medio x pH				
IF 725004 (n=75)	PDA (n=25)	4,8	4,8	8,85 ± 3,35	b	6,74 ± 3,68	3,94 ± 0,50	a	0,26 ± 0,11	b	0,20 ± 0,12	a	34,64 ± 16,76	b	18,13 ± 14,10	12,2 ± 5,67	a		
		5,3	5,3				10,17 ± 1,01	cdef								0,30 ± 0,03	bcd	40,0 ± 18,72	bcd
		5,8	5,8				11,43 ± 2,81	defg								0,34 ± 0,10	cde	42,2 ± 18,91	cd
	(n=15)	6,3	6,3	9,91 ± 4,19	b	9,91 ± 4,19	10,07 ± 3,53	cdef	0,29 ± 0,13	b	0,29 ± 0,13	b	33,40 ± 19,57	b	33,40 ± 19,57	40,8 ± 10,08	bcd		
		6,8	6,8				8,65 ± 1,80	bcde								0,24 ± 0,04	abc	38,0 ± 6,67	bc
		4,8	4,8				5,11 ± 1,41	ab								0,14 ± 0,05	a	10,8 ± 3,63	a
	MMN (n=25)	5,8	5,3	9,73 ± 4,34	b	6,14 ± 2,08	10,95 ± 4,52	b	0,28 ± 0,14	b	0,17 ± 0,06	a	34,12 ± 22,48	a	13,56 ± 3,78	39,13 ± 23,25	b		
		5,8	5,8				5,98 ± 2,26	abc								0,17 ± 0,07	ab	11,2 ± 1,92	a
		6,3	6,3				5,99 ± 1,47	abc								0,16 ± 0,04	ab	13,6 ± 3,58	a
	(n=15)	6,8	6,8	14,20 ± 2,74	c	11,32 ± 4,52	8,36 ± 2,79	abcd	0,43 ± 0,08	c	0,33 ± 0,14	b	54,16 ± 19,56	c	45,60 ± 28,21	14,0 ± 2,35	a		
		4,8	4,8				11,17 ± 2,72	defg								0,34 ± 0,08	cde	14,0 ± 2,35	a
		5,3	5,3				14,30 ± 2,97	fgh								0,43 ± 0,08	def	14,0 ± 2,35	a
BAF (n=25)	6,3	6,8	11,32 ± 4,52	b	11,32 ± 4,52	15,45 ± 1,38	gh	0,33 ± 0,14	b	0,33 ± 0,14	b	45,60 ± 28,21	c	45,60 ± 28,21	31,4 ± 17,87	abc			
	6,8	6,3				13,13 ± 1,32	efgh								0,38 ± 0,06	def	49,0 ± 3,32	cd	
	6,8	6,8				16,97 ± 0,79	h								0,51 ± 0,02	f	80,6 ± 13,83	e	
IF 1608006 (n=75)	PDA (n=25)	4,8	4,8	4,14 ± 2,03	a	2,95 ± 1,51	1,69 ± 0,33	a	0,11 ± 0,06	a	0,07 ± 0,04	a	23,04 ± 15,72	a	9,60 ± 4,93	3,6 ± 1,52	a		
		5,3	5,3				2,92 ± 1,3	ab								0,17 ± 0,04	ab	12,8 ± 6,46	ab
		5,8	5,8				6,32 ± 1,13	cde								0,15 ± 0,05	bcd	42,0 ± 8,86	ef
	(n=15)	6,3	6,3	5,78 ± 2,83	b	5,78 ± 2,83	5,5 ± 1,62	bcd	0,16 ± 0,09	b	0,16 ± 0,09	b	23,6 ± 16,22	b	23,6 ± 16,22	30,4 ± 10,21	cde		
		6,8	6,8				4,26 ± 1,14	abc								0,11 ± 0,03	abc	26,4 ± 11,01	bcde
		4,8	4,8				4,2 ± 1,69	abc								0,11 ± 0,05	abc	12,0 ± 0,71	ab
	MMN (n=25)	5,8	5,3	6,41 ± 2,99	a	7,21 ± 2,61	7,73 ± 1,93	c	0,18 ± 0,09	a	0,21 ± 0,08	b	28,75 ± 17,37	a	21,60 ± 8,41	40,33 ± 17,92	d		
		5,8	5,8				6,99 ± 1,20	def								0,20 ± 0,04	defg	21,0 ± 2,55	bcd
		6,3	6,3				9,02 ± 1,03	fgh								0,26 ± 0,03	fgh	26,4 ± 2,3	bcde
	(n=15)	6,8	6,8	7,89 ± 2,89	b	7,89 ± 2,89	10,34 ± 0,82	h	0,22 ± 0,09	b	0,20 ± 0,09	c	41,60 ± 18,79	b	32,47 ± 8,10	33,8 ± 3,03	de		
		4,8	4,8				8,31 ± 2,41	c								0,23 ± 0,07	c	13,2 ± 3,7	ab
		5,3	5,3				8,91 ± 0,63	efgh								0,25 ± 0,03	efgh	43,2 ± 11,9	ef
BAF (n=25)	6,8	5,8	7,29 ± 2,76	c	7,29 ± 2,76	9,87 ± 1,18	gh	0,20 ± 0,09	c	0,20 ± 0,09	c	58,0 ± 13,36	f	58,0 ± 13,36	58,0 ± 13,36	f			
	6,3	6,3				10,42 ± 0,77	h								0,29 ± 0,02	gh	56,4 ± 10,74	f	
	6,8	6,8				7,27 ± 1,29	defg								0,19 ± 0,04	cdef	37,2 ± 4,76	de	
IF 914002 (n=75)	PDA (n=25)	4,8	4,8	8,40 ± 4,29	a	6,33 ± 3,41	2,79 ± 1,50	a	0,24 ± 0,13	b	0,18 ± 0,11	a	35,4 ± 22,93	b	14,87 ± 10,92	10,6 ± 8,17	ab		
		5,3	5,3				6,11 ± 1,10	ab								0,17 ± 0,04	abc	25,2 ± 11,61	abcd
		5,8	5,8				13,28 ± 2,82	ef								0,40 ± 0,09	e	49,8 ± 20,61	d
	(n=15)	6,3	6,3	7,80 ± 3,47	a	7,80 ± 3,47	11,78 ± 2,77	cdef	0,23 ± 0,11	a	0,23 ± 0,11	a	23,47 ± 18,91	a	23,47 ± 18,91	56,8 ± 26,72	d		
		6,8	6,8				8,06 ± 1,11	bcd								0,22 ± 0,03	abc	34,6 ± 9,21	abcd
		4,8	4,8				6,45 ± 0,78	ab								0,18 ± 0,02	abc	8,0 ± 2,35	a
	MMN (n=25)	5,8	5,3	9,04 ± 4,01	b	6,48 ± 1,63	5,41 ± 0,97	ab	0,26 ± 0,13	b	0,18 ± 0,05	a	28,43 ± 22,19	a	9,24 ± 2,85	7,8 ± 1,1	a		
		5,8	5,8				5,14 ± 1,06	ab								0,14 ± 0,03	ab	7,8 ± 0,84	a
		6,3	6,3				7,29 ± 1,36	abc								0,21 ± 0,05	abc	8,6 ± 1,67	a
	(n=15)	6,8	6,8	11,38 ± 4,07	c	11,38 ± 4,07	8,10 ± 1,93	bcd	0,33 ± 0,13	d	0,33 ± 0,13	d	39,40 ± 26,88	c	39,40 ± 26,88	14,0 ± 1,58	abc		
		4,8	4,8				9,75 ± 2,72	bcde								0,30 ± 0,08	cde	26,0 ± 10,42	abcd
		5,3	5,3				11,9 ± 2,88	cdef								0,36 ± 0,08	de	37,4 ± 23,72	abcd
BAF (n=25)	6,8	5,8	12,25 ± 3,23	b	9,32 ± 2,86	12,74 ± 2,43	def	0,37 ± 0,10	c	0,26 ± 0,09	b	40,64 ± 19,86	b	30,33 ± 16,20	44,6 ± 29,8	cd			
	6,3	6,3				15,07 ± 3,21	f								0,45 ± 0,10	e	52,8 ± 4,92	d	
	6,8	6,8				11,79 ± 3,48	cdef								0,34 ± 0,12	de	42,4 ± 17,13	bcd	

Cepa	Factores			Crecimiento radial (mm)				Velocidad media de crecimiento (mm/día)				Biomasa Seca (mg)					
	Medio	pH	Medio x pH	Cepa	Medio	pH	Medio x pH	Cepa	Medio	pH	Medio x pH	Cepa	Medio	pH	Medio x pH		
IF 936001 (n=75)	PDA (n=25)	4,8	4,8	12,38 ± 3,42	b	6,72 ± 4,48	6,61 ± 1,02 b	0,36 ± 0,12	b	0,18 ± 0,13	0,16 ± 0,04 a	55,76 ± 23,36	b	25,87 ± 29,35	21,2 ± 3,7 ab		
		5,3	5,3			a	14,52 ± 2,01 cd			a	0,43 ± 0,07 bc			a	56,6 ± 17,64 abcde		
		5,8	5,8			cd	14,59 ± 2,93 cd			a	0,42 ± 0,10 bc			a	64,2 ± 22,8 bcdef		
		6,3	6,3			cd	12,78 ± 0,61 cd			a	0,38 ± 0,02 bc			a	77,2 ± 11,84 cdefg		
	(n=15)	5,3	6,8	11,80 ± 6,78	b	13,39 ± 1,06 cd	1,58 ± 0,05 a	0,34 ± 0,21	b	0,41 ± 0,04 bc	0,04 ± 0,0011 a	62,87 ± 49,78	b	59,6 ± 10,64 bcde	1,4 ± 0,55 a		
		4,8	5,3			a	3,33 ± 1,60 ab			a	0,08 ± 0,04 a			a	8,4 ± 2,97 ab		
		5,8	5,8			c	15,07 ± 3,19			a	0,45 ± 0,10			c	0,42 ± 0,07 bc	b	25,2 ± 1,92 abc
		6,3	6,8			c	12,37 ± 1,04 c			a	0,37 ± 0,03 bc			c	29,0 ± 4,06 abc		
	MMN (n=25)	5,8	5,8	12,14 ± 4,94	c	12,43 ± 0,57 c	11,98 ± 1,26 c	0,36 ± 0,16	c	0,39 ± 0,07	0,39 ± 0,02 bc	58,68 ± 45,21	b	29,6 ± 2,7 abc	29,6 ± 2,7 abc		
		6,3	4,8			b	13,35 ± 2,14			b	0,35 ± 0,05 b			b	72,60 ± 42,13	b	55,0 ± 34,14 abcd
		6,8	4,8			c	17,54 ± 3,80 d			b	0,52 ± 0,12 c			c	123,6 ± 31,97	g	123,6 ± 31,97 g
		5,3	5,8			c	16,67 ± 4,18 cd			c	0,50 ± 0,13 c			c	97,6 ± 58,4 defg	c	97,6 ± 58,4 defg
BAF (n=25)	6,8	6,3	15,32 ± 3,37	c	14,89 ± 3,16 cd	14,89 ± 3,16 cd	0,45 ± 0,11	c	0,44 ± 0,11 bc	0,44 ± 0,11 bc	101,56 ± 44,98	c	111,6 ± 41,84	111,6 ± 41,84 efg			
	6,3	6,3			c	15,53 ± 1,47 cd			c	0,46 ± 0,04 bc			c	120,0 ± 30,72 fg			
	6,8	6,8			c	13,78 ± 1,68			b	0,42 ± 0,05			c	69,73 ± 42,64	b	69,73 ± 42,64 b	
	6,8	6,8			c	15,53 ± 1,47 cd			c	0,46 ± 0,04 bc			c	120,0 ± 30,72 fg			

(\*) Valores medios con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

- *Velocidad Media de Crecimiento:*

Para esta variable el comportamiento de la cepa IF725004 fue muy similar a lo observado para el crecimiento radial, con valores más altos en el medio BAF, principalmente con pH entre 5,3 y 6,8; este último valor de pH presentó la mayor velocidad media de crecimiento ( $0,51 \pm 0,02$  mm/día), pero sin diferenciarse significativamente de la velocidad lograda en el mismo medio con pH 5,3. El medio MMN con los diferentes niveles de pH, así como el medio PDA con pH 4,8 y 6,8, presentaron la menor velocidad media de crecimiento, sin diferencias significativas entre ellos (Cuadro 3).

Para la cepa IF1608006 se apreciaron velocidades mayores, pero sin diferencia significativas entre los medios BAF con pH entre 5,3 y 6,3 y el medio MMN unidos con pH de 6,3 y 6,8. La velocidad más alta se alcanzó en el medio MMN a pH 6,8 con  $0,3 \pm 0,02$  mm/día. Las velocidades menores se concentraron principalmente en el valor de pH 4,8 para los tres medios de cultivo, agregándose además el medio PDA con pH 5,3 y 6,8, y cuyos valores promedios no presentaron diferencias significativas entre sí (Cuadro 3).

La cepa IF914002 presentó entre las velocidades más altas, las obtenidas con el medio BAF con los distintos valores de pH, y también las conseguidas en el medio PDA con pH 5,8 y 6,3. En relación a esto valores, el valor máximo obtenido para esta variable para esta cepa fue en el medio BAF y pH 6,3 con  $0,45 \pm 0,10$  mm/día. Los valores menores y que no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos, fueron los del medio MMN con pH entre 4,8 y 6,3 y en el medio PDA con pH de 4,8, 5,3 y 6,8 (cuadro 3).

En la cepa IF936001 los mejores resultados fueron en el medio BAF con pH de 5,3 y 5,8 con  $0,52 \pm 0,12$  y  $0,50 \pm 0,13$  mm/día, respectivamente. Sin embargo, estos resultados no presentaron diferencias estadísticas significativas con lo obtenido para el mismo medio con pH 6,3 y 6,8, como también con el medio PDA para niveles de pH entre 5,3 y 6,8 y MMN con pH de 5,8 a 6,8. La menor velocidad media de crecimiento se obtuvo en los medios MMN, a pH 4,8 y 5,3 y en el medio PDA con pH 4,8 (Cuadro 3).

- *Biomasa*

Los resultados para la cepa IF725004, indican que el medio BAF con pH 6,8 y 5,8 presenta los mejores montos biomasa seca ( $80,6 \pm 13,83$  y  $61,6 \pm 7,96$  mg) con diferencias no significativas entre estos valores. Los valores más bajos y que tampoco presentaron diferencias significativas entre ellos se obtuvieron en el medio MMN en todos sus niveles de pH, al igual que para el medio PDA y BAF a pH 4,8 (Cuadro 3).

En la cepa IF1608006 se evidenció una mayor producción de materia seca en el medio BAF con pH de 5,8 y 6,3 ( $58,0 \pm 13,36$  y  $56,4 \pm 10,74$  mg, respectivamente). El medio BAF con pH 5,3 y el medio PDA con pH 5,8 obtienen valores de  $43,2 \pm 11,9$  y  $42,0 \pm 8,86$  mg, lo que no se diferencian de los valores previamente señalados. En contraposición, los medios PDA y MMN a niveles de pH 4,8 y 5,3, más el medio BAF a pH 4,8, presentaron los más bajos valores y con diferencias no significativas entre ellos (Cuadro 3).

Para la cepa IF914002 no se observó interacción de los factores medio y pH. Los medios BAF y PDA presentaron los mayores montos de materia seca y sin diferencias significativas entre ellos. El medio MMN presentó un valor de biomasa significativamente inferior al de los dos medios anteriores. La mayor cantidad de biomasa de la cepa IF914002 se obtuvo en el medio PDA con pH 6,3 ( $56,8 \pm 26,72$  mg), seguido del medio BAF con  $52,8 \pm 4,92$  mg. Respecto al factor pH, los mayores montos de biomasa seca se produjeron con el valor 6,3 ( $39,4 \pm 26,88$  mg), seguido de 5,8 y 6,8 ( $34,07 \pm 27,38$  y  $30,33 \pm 16,20$  mg, respectivamente), presentando estos 3 valores de pH diferencias no significativas entre ellos. El menor valor de biomasa ( $14,87 \pm 10,92$  mg) se obtuvo con pH de 4,8 (Cuadro 3).

En la cepa IF936001, tampoco hubo interacción entre los factores medio y pH. Se observó diferencias estadísticamente significativas en el efecto del factor medio de cultivo; el mejor resultado se obtuvo en el medio BAF, con un promedio total de materia seca de  $101,56 \pm 44,98$  mg, siendo el medio MMN el de peor desempeño con una cifra que alcanza los  $18,72 \pm 12,09$  mg. Respecto al factor pH, los medios ajustados a 4,8 obtienen un monto de biomasa seca ( $25,87 \pm 29,35$  mg) significativamente inferior al obtenido con

todos los restantes valores de pH. El valor más alto de biomasa seca se logró a pH 6,3 (72,60±42,13 mg de materia seca), aun cuando no resulta estadísticamente diferente de los montos de biomasa obtenidos con los restantes valores de pH, excepto con el valor 4,8 (cuadro 3).

- *Correlación entre Variables*

Atendiendo a que las 3 variables evaluadas son una manifestación del crecimiento, existe una alta correlación entre ellas, situación que se observa en las cuatro cepas estudiadas y que queda de manifiesto en los altos valores del coeficiente de correlación de Pearson, el que fluctúa entre 0,75 y 1,00 para cada par de variables comparada (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Coeficientes de correlación entre las variables crecimiento radial (CR), Biomasa (B) y velocidad media de crecimiento (VMC) para cuatro cepas de *Lactarius deliciosus* cultivadas *in vitro*.

	CR	B	VMC		CR	B	VMC
CR	--	0,90	1,00		--	0,83	0,81
B	0,78	--	0,89		0,77	--	0,99
VMC	0,99	0,75	--		1,00	0,75	--
Cepa IF725004 sobre la diagonal; Cepa IF1608006 bajo la diagonal.				Cepa IF914002 sobre la diagonal; Cepa IF936001 bajo la diagonal.			

### A Nivel de Especie

A nivel de especie, el ANDEVA de los datos obtenidos muestra la presencia de interacciones con diferencias significativas para  $\alpha=0,05$ , entre los factores medio de cultivo y nivel de pH que afectaron el nivel de respuestas de las variables CR, VCM y B (cuadro 5).

**Cuadro 5.** Significancia estadística del análisis de varianza (ANDEVA) para los valores medios obtenidos de las variables crecimiento radial, velocidad media de crecimiento y biomasa seca para la especie *Lactarius deliciosus*.

Factor	Crecimiento Radial	Velocidad Media de Crecimiento	Biomasa Seca
Medio	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
pH	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
Medio x pH	0,0053**	0,0036**	0,0410*

\* Efectos significativos ( $P \leq 0,05$ )

- *Crecimiento Radial*

El mayor crecimiento radial se obtuvo en el medio BAF, principalmente entre niveles de pH 5,3 y 6,8, pero sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellos, ni tampoco con el medio PDA a pH 5,8 y 6,3. El valor máximo fue de 13,68±3,58 mm, el cual se logró en el medio BAF con pH 5,8. Por el contrario, y sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellos, se aprecia menores crecimientos con pH de 4,8 en el medio PDA (3,76±2,07 mm) y en el medio MMN con pH 4,8 y 5,3 (4,34±2,12 y 4,88±1,55 mm, respectivamente) (cuadro 6).

**Cuadro 6.** Efecto de los factores medio de cultivo y nivel de pH sobre los valores medios y sus desviaciones estándar obtenidos para las variables crecimiento radial, velocidad media de crecimiento y biomasa para *Lactarius deliciosus*

Factores			Crecimiento radial (mm)			Velocidad media de crecimiento (mm/día)			Biomasa Seca (mg)									
Medio	pH	Medio x pH	Medio	pH	Medio x pH	Medio	pH	Medio x pH	Medio	pH	Medio x pH							
PDA (n=100)	4.8	4.8	8,44 ± 4,43	b	3,76 ± 2,07	0,24 ± 0,14	b	0,09 ± 0,05	37,21 ± 22,98	b	11,90 ± 8,10							
	(n=15)	5.3			5,69			a			8,43 ± 4,65	cd	a	0,24 ± 0,15	cd	a	33,65 ± 21,42	bcd
		5.8			± 3,72			a			11,41 ± 3,98	def	defg	0,33 ± 0,13	defg	def	49,55 ± 19,40	def
		6.3						b			10,03 ± 3,61	def	defg	0,29 ± 0,12	defg	def	51,30 ± 23,49	def
		6.8						b			8,59 ± 3,54	d	cd	0,24 ± 0,12	cd	cde	39,65 ± 15,33	cde
		4.8						b			4,34 ± 2,12	ab	ab	0,12 ± 0,06	ab	a	8,05 ± 4,67	a
MMN (n=100)	5.3	6.3	7,14 ± 3,39	a	8,82	0,20 ± 0,11	a	0,13 ± 0,05	15,78 ± 8,99	a	43,97							
	(n=15)	5.8			± 5,00			b			4,88 ± 1,55	abc	abc	0,23 ± 0,13	bcd	b	16,90 ± 7,22	abc
		6.3						c			8,01 ± 3,92	bcd	d	0,25 ± 0,09	d	abc	19,50 ± 9,05	abc
		6.8						c			9,81 ± 2,42	de	def	0,29 ± 0,08	def	abc	23,90 ± 8,61	abc
		4.8						c			8,97 ± 4,12	d	de	0,27 ± 0,13	de	abcd	31,40 ± 24,08	abcd
		5.3						c			13,16 ± 4,16	ef	fg	0,39 ± 0,13	fg	ef	63,30 ± 40,74	ef
BAF (n=100)	6.3	6.8	12,40 ± 4,15	c	10,69	0,37 ± 0,13	c	0,41 ± 0,12	59,49 ± 37,27	c	65,45							
	(n=15)	4.8			± 3,64			b			13,68 ± 3,58	f	g	0,41 ± 0,12	f	36,77	f	
		5.3						b			13,38 ± 2,90	ef	fg	0,39 ± 0,10	fg	f	33,25	f
		6.8						c			12,89 ± 4,28	ef	efg	0,38 ± 0,14	efg	f	38,43	f
		5.8						c			10,43	b	b	0,41 ± 0,12	g	f	36,77	f
		6.3						c			± 3,89	c	c	0,39 ± 0,10	fg	f	33,25	f

(\*) Valores medios con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

- *Velocidad Media de Crecimiento*

Esta variable presenta un comportamiento similar al crecimiento radial, observándose crecimientos mayores en el medio BAF, principalmente entre niveles de pH 5,3 y 6,8 pero sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellos, ni tampoco con el medio PDA a pH 5,8 y 6,3. La velocidad máxima alcanzó a  $0,41 \pm 0,12$  mm/día en medio BAF con pH 5,8. Por el contrario, y sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellos, la velocidad menor se obtiene en los medios PDA con pH 4,8 ( $0,09 \pm 0,05$  mm/día) y MMN con pH de 4,8 y 5,3 ( $0,12 \pm 0,06$  y  $0,13 \pm 0,05$  mm/día, respectivamente) (cuadro 6).

- *Biomasa*

La mayor producción de biomasa se obtuvo en el medio BAF con pH entre 5,3 y 6,8, y en el medio PDA con pH de 5,8 y 6,3, pero sin diferencias estadísticas significativas entre ellos. Los valores más altos se lograron en el medio BAF con pH 6,8 ( $70,05 \pm 38,43$  mg), pH 6,3 ( $67,25 \pm 33,25$ ) y pH 5,8 ( $65,45 \pm 36,77$  mg). Se observa baja producción de biomasa seca en el medio MMN con todos los pH ensayados, también en los medios PDA y MMN con pH 4,8, sin existir diferencias significativas entre ellos. La menor producción de biomasa fue para el medio MMN con pH 4,8 ( $8,05 \pm 4,67$  mg) y 5,3 ( $10,55 \pm 3,75$  mg) (Cuadro 6).

- *Correlación entre Variables:*

Tal como se observó a nivel de cepas, a nivel de especie también existe una alta correlación entre las variables evaluadas. El coeficiente de correlación de Pearson fluctuó entre 0,80 y 1,00 de acuerdo al detalle del Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Coeficientes de correlación entre las variables crecimiento radial (CR), Biomasa (B) y velocidad media de crecimiento (VMC) para *Lactarius deliciosus* cultivado *in vitro*.

	CR	B	VMC
CR	--	0,80	1,00
B		--	0,80
VMC			--

## DISCUSIÓN

En base a los factores y variables evaluadas para las 4 cepas de *Lactarius deliciosus*, se observó variación en la estrategia con que cada cepa enfrenta dichos cambios, influenciados ya sea por las interacciones entre los factores o por la influencia de los factores principales al no verificarse interacciones, como fue el caso de la variable Biomasa para las cepas IF914002 e IF936001. Por lo general, estos comportamientos han sido observado en varias especies, reportándose diferencias entre aislados de una misma especie. Estudios para evaluar el efecto de parámetros medioambientales sobre diferentes cepas de especies micorrícicas obtienen resultados muy variables, debido principalmente a los diferentes requerimientos medioambientales derivados de la variabilidad genéticas que presentan dichos microorganismos y de las condiciones de sitio donde se han desarrollado (Chung, 2021). Esto es reafirmado por Islam y Ohga (2013), quienes indican que para llegar a producir inoculantes fúngicos a gran escala, es necesario definir la composición óptima del medio de cultivo para cada hongo, tomando en cuenta las diferentes cepas sobre una gran variación de condiciones medioambientales. Ejemplo de ello es lo observado por Flores *et al.* (2008), al evaluar varias cepas de *L. deliciosus*, obteniendo importante variación en el crecimiento, el cual alcanza los valores más altos con pH de 4,5 o 6,5, dependiendo de la cepa estudiada. Por su parte Royo *et al.* (1998), concluyen que no es posible

determinar el medio nutritivo óptimo para cada especie fúngica estudiada debido a la existencia de interacciones significativas entre los factores cepa y medio nutritivo.

Estudios realizados por [Sánchez et al. \(2001\)](#), para analizar la influencia del pH en el crecimiento de *L. deliciosus*, en un medio MMN modificado dentro de un rango de niveles de pH 2,5 y 8,5, señalan una gran diferencia en el crecimiento en diámetro, observando crecimientos significativamente mayores en pH 6,5 a 8,5, que en el rango de 2,5 a 5,5. El mejor desempeño de pH cercano a neutro es coincidente con la tendencia mostrada en este trabajo para el mismo medio de cultivo. Los mismos investigadores obtuvieron a las 6 semanas a pH 6,5, diámetros de crecimiento que alcanzaron los 5,7 cm, utilizando hidróxido de sodio para ajustar el pH. Ese resultado es superior al obtenido en este trabajo, pero con una evaluación realizada a los 35 días, llegando a un crecimiento radial máximo de  $1,394 \pm 2,11$  cm en medio MMN a pH 5.8.

Evaluaciones del desarrollo de varias especies fúngicas, entre ellas *L. deliciosus*, en medio BAF y pH de 5,5, obtuvieron crecimientos en diámetro de 5,5 cm en 28 días ([Sánchez et al. \(2000\)](#)), monto superior a los  $1,754 \pm 3,8$  mm obtenido en CR para este medio a pH 5,3. [Daza et al. \(2005\)](#) trabajando con varias cepas de *L. deliciosus* en medio MMN modificado, observaron a los 27 días crecimientos significativamente más bajos a niveles de pH de 7 y 8, respecto a pH 6 y 5, con resultados variables dependiendo de la cepa utilizada. [Barros et al. \(2006\)](#) evaluando el desempeño de varias cepas de *L. deliciosus* en los medios MMN y PDA para distintos niveles de pH, obtuvieron a los 36 días un crecimiento radial significativamente mayor para MMN. Este resultado es coincidente sólo para la cepa IF1608006, observándose en esta un valor promedio estadísticamente significativo frente a los obtenidos en el medio PDA y muy similares a lo logrado en medio BAF.

En relación al trabajo realizado, los valores obtenidos para el medio MMN muestra en su mayoría valores bajos. Respecto a esta observación, [Sánchez et al. \(2000\)](#), mencionan un lento crecimiento de esta especie en el medio MMN. Por su parte, [Daza et al. \(2005\)](#), observaron similar comportamiento con rendimientos miceliares escasos, indicando la necesidad de complementar este medio con una fuente de carbono.

En general, los resultados obtenidos para la variable CR mostraron poco desarrollo de micelio aéreo, formando diámetros pequeños con micelio muy denso y sumergido bajo el medio. Esta estrategia de crecimiento fue observada por [Sánchez et al. \(2001\)](#), mencionando que esta forma de crecer de las cepas se debe a un desarrollo por estrés, lo que suele formar colonias con pequeños diámetros e hifas muy densas. Estos autores citando a [Boxman et al. \(1986\)](#), mencionan que el crecimiento compacto junto con reducciones en el crecimiento radial es un mecanismo de protección contra condiciones desfavorables del suelo. Habría que señalar también que los mayores crecimientos en diámetro de la cepa bajo cultivo *in vitro*, no siempre corresponden con la mayor producción de biomasa, aspecto que es de importancia debido al frecuente empleo de este parámetro como único elemento para evaluar el crecimiento de la cepa ([Santiago-Martínez et al., 1995](#)).

En relación a la velocidad media de crecimiento, se observó comportamientos diferentes para las cepas de *L. deliciosus* en los medios utilizados, logrando una mayor velocidad de crecimiento en el medio BAF, mientras que el menor desarrollo lo obtuvieron en el medio MMN que presentó un crecimiento muy lento, coincidiendo con lo obtenido por [Chávez et al. \(2009\)](#). Por su parte, [Pereira et al. \(2014\)](#), reafirman lo mencionado por los anteriores investigadores y lo observado en esta investigación, logrando una velocidad de crecimiento radial mayor en medio BAF, con diferencias significativas respecto a los medios MMN y PDA, estos últimos también con diferencias significativas entre ellos.

En cuanto a la variable producción de biomasa seca, los mayores montos obtenidos en este estudio se situaron en el medio BAF con pH en el rango de 5,3 a 6,8, dependiendo de la cepa analizada. El valor máximo lo alcanzó la cepa IF936001 en medio BAF con pH 5,3 ( $123,6 \pm 31,97$  mg). Experimentos realizados por [Guerin-Laguet et al. \(2000\)](#), determinaron que pH entre 5,5 y 6,0 fue el rango óptimo para el crecimiento micelial, con una producción de biomasa por sobre los 130 mg a los 28 días y un buen desempeño del medio nutricional BAF en contraposición al medio MMN. [Lazarevic et al. \(2016\)](#) obtuvieron una mayor producción de biomasa con pH entre 5,8 y 6,5 en medio MMN y utilizando

diferentes fuentes de carbono. Mientras que [Pereira et al. \(2014\)](#), lograron los mayores montos de biomasa (107 mg a los 30 días) con pH 5,5 en medio BAF. Montos mayores fueron obtenidos por [Sánchez et al. \(2001\)](#), pero en un período mayor de crecimiento (6 semanas), en medio MMN con pH 7,5, condición en la que obtuvo una producción de 408 mg de materia seca.

En relación a la correlación entre las variables crecimiento acumulado promedio y Biomasa, [Sánchez et al. \(2001\)](#) obtuvieron una correlación de 0,73 entre el diámetro de la cepa y los valores de peso seco, ocupando un medio MMN y diferentes ácidos para ajustar a niveles de pH entre 2,5 y 8,5. Estas observaciones son concordantes con lo obtenido en el análisis realizado a nivel de cepas y de especie, las que también mostraron una alta correlación entre todas las variables estudiadas. Sin embargo, [Daza et al. \(2005\)](#), citando a otros autores, indican que los distintos tipos de nutrientes y concentraciones podrían relacionarse con las diferentes estrategias de exploración del medio, siendo muy frecuente que la biomasa fúngica y el diámetro de crecimiento no se hallen directamente correlacionados afectando la morfología de los hongos.

## CONCLUSIONES

[Trifonov & Chakravartyn \(1990\)](#), indican que los medios nutricionales sintéticos y semi-sintéticos serían aptos para el crecimiento de *Lactarius spp.*, lo observado en este trabajo muestra un crecimiento miceliar de *L. deliciosus* que resulta variable con respecto al medio de cultivo, nivel de pH y cepa utilizada. Los resultados obtenidos sugieren el medio BAF como el más apto para los trabajos de multiplicación miceliar, junto con un rango de pH que varió con la cepa utilizada, pero con un marcado bajo rendimiento a nivel de pH 4,8 para las 3 variables evaluadas. Respecto al medio de mayor rendimiento, [Oort \(1981\)](#) concluye que el medio semi-sintético BAF sería el más indicado para el crecimiento miceliar del género *Lactarius*, lo que coincide con lo observado.

De las 4 cepas evaluados, la cepa IF936001 procedente de la región de la Araucanía es la que presentó los mayores valores para las 3 variables evaluadas, y con posibilidades de poder ser utilizada en los programas de micorrización, contrastando con la otra cepa de la misma región (IF914002) pero muy distantes geográficamente entre sí, como también con las obtenidas de regiones de más al norte.

Se visualiza una variación en los comportamientos frente a factores medio nutritivo y nivel de pH, por lo que se abre la necesidad de ampliar la base genética que recoja la máxima variabilidad bajo diversos ambientes, con el fin de seleccionar cepas que sean específicas para sitios determinados, ajustando protocolos que permitan maximizar la producción de biomasa miceliar para la elaboración de inoculantes que ayuden a masificar los trabajos en vivero, con el objetivo de obtener plantas micorrizadas y de calidad, capaces de producir hongos comestibles, una vez que sean establecidas en terreno ([Pera et al., 1998](#)).

Considerando lo expuesto por [Molina y Palmer \(1982\)](#), respecto a que el medio adecuado para cultivar un hongo ectomicorrícico es el que le aporta los nutrientes que obtendría de su hospedante, entonces, en el contexto de los resultados obtenidos y el interés por encontrar una metodología para generar la mayor cantidad de biomasa, se puede concluir que el medio BAF es apropiado para su utilización en la producción miceliar, debido a su buen desempeño en generar biomasa seca, para las cuatro cepas evaluadas.

Si bien es cierto que, bajo ciertas condiciones de cultivo, algunas de las cepas evaluadas presentaron mayor rendimiento que otras, su selección final para ser utilizadas en actividades de micorrización de plantas dependerá de su desempeño en vivero y su comportamiento en campo. [Hung y Trappe \(1983\)](#) afirman que el efecto de factores como el pH sobre el crecimiento fúngico *in vitro* debe ser interpretado con precaución, debido a que el desempeño de un hongo o cepa pueden ser afectados por una serie de otros factores que pueden hacer variar los resultados, como son la duración del experimento, las fuentes de nitrógeno, la inclusión de sales de hierro antes o después del autoclavado del medio, entre muchos otros factores. Estos mismos autores señalan que, en igualdad de condiciones, un aislado que crezca

razonablemente bien en un amplio rango de valores de pH sería preferible para trabajos de masificación e inoculación en vivero, a uno que crezca bien solo en un rango restringido.

El desarrollo de los hongos micorrícicos en un ambiente determinado se encuentran en constante interacción con diversos factores del ambiente que pueden afectarlos. Si se analiza a nivel de cepa o ecotipo, estos poseen sus propias limitaciones frente a determinadas condiciones del medio (Sianard, *et al.*, 2010). Por lo tanto, el estudio de factores que inciden en la nutrición de los hongos y su crecimiento, como lo son el pH, medio de cultivo, temperatura y otros, es necesario para conocer sus comportamientos, los que difieren al interactuar con cada uno de estos parámetros (Honrubia *et al.*, 1992; Vázquez-García *et al.*, 2002). El conocimiento de dichos parámetros para cada hongo o cepa en particular, permitirá reunir información con miras a perfeccionar la producción de micelios de hongos ectomicorrícicos.

En relación al factor pH, este juega un importante papel en el crecimiento y muchas veces se encuentra interactuando con los elementos nutritivos del medio, debido probablemente a su influencia sobre la disponibilidad de algunos nutrientes utilizados. Este efecto fue señalado por Pereira *et al.* (2007), quienes mencionan que el pH influye significativa en la disponibilidad de nutrientes, pudiendo determinar biológicamente el tipo de organismo capaz de desarrollarse en un suelo o sustrato. Willenborg *et al.* (1990), afirman que los hongos ectomicorrícicos tienen, en general, una naturaleza acidófila cuando se cultivan en condiciones de cultivo puro.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta investigación buscan complementar otras experiencias para la especie *L. deliciosus*, tratando de recoger la variabilidad genéticas presentes en el país y analizar sus posibles respuestas frente a diversos factores medioambientales. Esta recopilación de información servirá de insumo para futuros trabajos que faciliten la óptima producción de inoculantes para su uso en la producción de plantas de *Pinus radiata*, entregando las bondades que entregan las micorrizas en conjunto con la producción de hongos comestibles de valor socioeconómico.

## REFERENCIAS

- Barros, L., Baptista, P. & Ferreira, I. (2006). Influence of the culture medium and pH on the growth of saprofic and ectomycorrhizal mushroom mycelia. *Minerva Biotecnológica*, N° 18. Pp: 165-170. <http://hdl.handle.net/10198/824>
- Boa, E. (2004). Wild edible fungi. A global overview of their use and importance to people. Non-wood forest products 17. ISBN: 92-5-105157-7. FAO. Roma. 147 p.
- Boxman, A., Sinke, R. & Roelofs, J. (1986). Effects of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> on the growth and K<sup>+</sup>(<sup>86</sup>Rb) uptake of various ectomycorrhizal fungi in pure culture. *Water, Air Soil Pollution*, N° 31. Pp: 517-522. <https://doi.org/10.1007/BF00630870>
- Brundrett M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. & Malajczuk, N. (1996). Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR Monograph N° 32. 374 p.
- Brundrett, M. & Cairney, J. (2002). Ectomycorrhizal in plant communities. In: Sivasithamparam, K., Dixon, K.W. & Barret R.L. (Eds). *Microorganisms in plant conservation and biodiversity*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. Pp: 105–150. [https://doi.org/10.1007/0-306-48099-9\\_5](https://doi.org/10.1007/0-306-48099-9_5)
- Chávez, D., Pereira, G. & Machuca, A. (2009). Crecimiento in vitro de *Lactarius deliciosus* en medio de cultivo BAF y MNM. En: 4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Universidad de Talca, Chile. 8 p.
- Chung, P. (2020). Captura, aislación y evaluación del crecimiento de material fúngico de la región de Ñuble para su incorporación al banco de hongos comestibles del Instituto Forestal. *Ciencia & Investigación Forestal*, 26(3): 65-92. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.538>
- Chung, P. (2021). Influencia de diferentes medios de cultivo y niveles de pH en el crecimiento in vitro de 6 cepas del género *Suillus*. *Ciencia & Investigación Forestal*, 27(3): 17–33. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.555>

- Daza, A., Manjón, J., Aguilar, A., Bernedo, M., Camacho, M., Romero, L. & Santamaría, C. (2005).** Crecimiento *in vitro* y capacidad micorrícica de varios aislamientos de *Lactarius deliciosus*. IV Congreso Forestal Español. Tomo 4. Pp: 182-188. Zaragoza, España.
- Flores, R., Honrubia, M. & Díaz, G. (2008).** Caracterización de cepas de *Lactarius* sección *Deliciosi* de Guatemala y su comparación con cepas europeas de *L. deliciosus*. Revista Mexicana de Micología, N° 26. Pp: 51-55. En: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88302608>. Consulta: 25 noviembre, 2022
- Guerin-Laguette, A., Cummings, N., Butler, R., Willows, A., Hesom-Williams, N., Li, S. & Wang, Y. (2014).** *Lactarius deliciosus* and *Pinus radiata* in New Zealand: towards the development of innovative gourmet mushroom orchards. Mycorrhiza N° 24. Pp: 511-523. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0570-y>
- Guerin-Laguette, A., Plassard, C. & Mousain, D. (2000).** Effects of experimental conditions on mycorrhizal relationships between *Pinus sylvestris* and *Lactarius deliciosus* and unprecedented fruit-body formation of the Saffron milk cap under controlled soilless conditions. Canadian Journal of Microbiology, N° 46. Pp: 790-799. <https://doi.org/10.1139/w00-059>
- Hawksworth, D. & Luecking, R. (2017).** Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. Microbiol. Spectr., 5(4). FUNK-0052-2016. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016>
- Hawksworth, D. (2001).** The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. Mycological Research, N° 105. Pp: 1422-1432. <https://doi.org/10.1017/S0953756201004725>
- Honrubia, M., Torres, P., Díaz, G. & Cano, A. (1992).** Manual para micorrizar plantas en viveros forestales. Madrid. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Hung, L. & Trappe, J. (1983).** Growth variation between and within species of ectomycorrhizal fungi in response to pH *in vitro*. Mycologia, N° 75. Pp: 234-241. <https://doi.org/10.2307/3792807>
- INFOR (2022).** Estadísticas Forestales. En: <https://wef.infor.cl/>. Consulta: 20 noviembre, 2022.
- Ipinza, R. & Serrano, M. (1982).** Micorrización artificial sobre pino insigne en la Estación Experimental Pantanillo - Las Brisas (VII Región). Universidad de Chile, Escuela de Cs. Forestales. Ciencias Forestales 2(2): 77-93.
- Islam, F. & Ohga, S. (2013).** Effects of media formulation on the growth and morphology of ectomycorrhizae and their association with host plant. ISRN Agronomy. Volume 2013, Article ID 317903. 12 p. Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2013/317903>
- Lazarević J., Stojičić, D. & Keča, N. (2016).** Effects of temperature, pH, carbon and nitrogen sources on growth of *in vitro* cultures of ectomycorrhizal isolates from *Pinus heldreichii* forest. Forest Systems, N° 25. Pp: 1-10. <https://doi.org/10.5424/fs/2016251-07036>
- Marx, D. H. (1969).** The influence of ectotrophic fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. Phytopathology, N° 59. Pp: 153-163.
- Molina, R. & Palmer, J. (1982).** Isolation, maintenance and pure culture manipulation of ectomycorrhizal fungi. In: Schenk, N.C. (Ed). Methods and Principles of Mycorrhizal Research. American Phytopathological Soc. St. Paul, Pp: 115-129.
- Montgomery, D. (1984).** Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons. New York. 649 p.
- Moser, M. (1960).** Die Gattung Phlegmacium. Die Pilze Mitteleuropas 4. J. Bad Heilbrunn.
- Mujica, F. & C. Vergara. (1980).** Flora Fungosa Chilena. Segunda Edición revisada y actualizada. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Ciencias Agrícolas N° 5, Editorial Universitaria. Santiago. 308 p.
- Nuytinck, J. & Verbeke, A. (2007)** Species delimitation and phylogenetic relationships in *Lactarius* section *Deliciosi* in Europe. Mycol. Res., N° 111. Pp: 1285-1297. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.09.001>
- Oort, A. (1981).** Nutritional requirements of *Lactarius* species and cultural characters in relation to taxonomy. North-Holland Publishing Company, Amsterdam.

- Ortega-Martínez, P., Águeda, B., Fernández-Toirán, L. & Martínez-Peña, F. (2011).** Tree age influences on the development of edible ectomycorrhizal fungi sporocarps in *Pinus sylvestris* stands. *Mycorrhiza.*, N° 21. Pp: 65-70. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0320-8>
- Pera, J., Álvarez, L. & Parlade, J. (1998).** Eficacia del inóculo micelial de 17 especies de hongos ectomicorrícicos para la micorrización controlada de: *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* y *Pseudotsuga menziesii*, en contenedor. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 7(1 y 2): 139-153.
- Pereira, G., Campos, J., Chávez, D., Anabalón, L. & Arriagada, C. (2014).** Caracterización del crecimiento micelial del hongo ectomicorrícico *Lactarius* aff. *deliciosus* y su simbiosis con plántulas de *Pinus radiata*. *Quebracho – Revista de Ciencias Forestales*, 22(1-2): 30-39. En: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48133884004>. Consulta: 24 noviembre, 2022.
- Pereira, G., Herrera, J., Machuca, A. & Sánchez, M. (2007).** Efecto del pH sobre el crecimiento *in vitro* de hongos ectomicorrícicos recolectados de plantaciones de *Pinus radiata*. *Bosque*, 28(3): 215-219. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002007000300005>
- Royo, P., Fernández Toiran, M. & Fischer, C. (1998).** Síntesis micorrícica de *Lactarius deliciosus* F.R. y *Pinus sylvestris*. *Invest. Agr.: Sist. Rec.*, 7 (1 y 2): 85-93.
- Sánchez, F., Honrubia, M. & Torres, P. (2000).** Características culturales de algunos hongos ectomicorrícicos en cultivo puro. *Revista Iberoamericana de Micología*, N° 17. Pp: 127-134.
- Sánchez, F., Honrubia, M. & Torres, P. (2001).** Effects of pH, water stress and temperature on *in vitro* cultures of ectomycorrhizal fungi from Mediterranean forest. *Cryptogamic Mycol.*, 22(4): 243-258. [https://doi.org/10.1016/S0181-1584\(01\)01076-4](https://doi.org/10.1016/S0181-1584(01)01076-4)
- Santiago-Martínez, G., Varela, L., Estrada-Torres, A. & Cuaxilo, V. (1995).** Efecto de seis medios de cultivo sobre el crecimiento de tres cepas de *Pisolithus tinctorius*. *Revista Mexicana de Micología*, N° 11. Pp: 57-68. <https://dx.doi.org/10.33885/sf.1995.3.829>
- Santiago-Martínez G., Estrada-Torres, A., Varela, L. & Herrera, T. (2003).** Crecimiento en siete medios nutritivos y síntesis *in vitro* de una cepa de *Laccaria bicolor*. *Agrociencia*, 37(6): 575-584.
- Sianard, F., Pangou, S. & Mountanda, A. (2010).** Influencia del pH en el desarrollo *in vitro* de cinco especies de hongos ectomicorrícicos. *Centro Agrícola*, 37(1): 23-28.
- Slankis, V. (1973).** Hormonal relationships in mycorrhizal development. In: Marks, G.C. & Kozlowski, T.T. (Eds). *Ectomycorrhizae: Their Ecology and Physiology*. Academic Press. New York. Pp: 231-298.
- Trappe, J. (1977).** Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. *Ann. Rev. Phytolaphol.*, N° 15. Pp: 203–222. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.15.090177.001223>
- Trappe, J. (1987).** Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In: Safir, G.R. (Ed). *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*. CRC Press, Boca Raton, FL. Pp: 5-25.
- Trifonov, L. & Chakravarty, P. (1999).** XIV *Lactarius* species (Mushrooms): *In vitro* culture and production of sesquiterpenes and other secondary metabolites. In: Bajaj, Y.P.S. (Eds). *Medicinal and Aromatic Plants XI. Biotechnology in Agriculture and Forestry*, vol 43. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-08614-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-662-08614-8_14)
- Valenzuela, E. (2003).** Hongos comestibles silvestres colectados en la X Región de Chile. *Boletín Micológico*, N° 18. Pp: 1-14. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2003.18.0.374>
- Vasco, F. (2003).** Aspectos Biológicos de la Unión Hongo-Planta (Micorrizas). *Boletín de ARBA*. N°12. Pp: 27-30.
- Vázquez-García, A., Santiago-Martínez, G & Estrada-Torres, A. (2002).** Influencia del pH en el crecimiento de quince cepas de hongos ectomicorrizógenos. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica* N° 73. Pp:1-15.

- Voces, R., Diaz-Balteiro, L. & Alfranca, O. (2009). Demand for wild edible mushrooms. The case of *Lactarius deliciosus* in Barcelona (Spain). *Journal of Forest Economics*, N° 18. Pp: 47-60. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2011.06.003>
- Wang, Y., Hall, I., Dixon, C., Hance-Halloy, M., Strong, G. & Brass, P. (2001). The cultivation of *Lactarius deliciosus* (Saffron milk cap) and *Rhizopogon rubescens* (shoro) in New Zealand. In: Hall, I.R., Wang, Y., Danell, E. & Zambonelli, A. (Eds). *Edible mycorrhizal mushrooms and their cultivation. Proceedings of the second international conference on edible mycorrhizal mushrooms*. New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited, Christchurch.
- Wang, D., Zhang, J., Wang, Y., Zambonelli, A., Hall, I. & Xiong, W. (2021). The cultivation of *Lactarius* with edible mushrooms. *Italian Journal of Mycology*, N° 50. Pp: 63-77. <https://doi.org/10.6092/issn.2531-7342/12908>
- Wang, Y., Cummings, N. & Guerin-Laguette, A. (2012). Cultivation of basidiomycete edible ectomycorrhizal mushrooms: *Tricholoma*, *Lactarius*, and *Rhizopogon*. In: *Edible ectomycorrhizal mushrooms*. Springer, Berlin, Heidelberg. Pp: 281-304. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33823-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33823-6_16)
- Willenborg, A., Schmitz, D. & Lelley, J. 1990. Effects of environmental stress factors on ectomycorrhizal fungi *in vitro*. *Canadian Journal of Botany*, N° 68. Pp: 1741-1746. <https://doi.org/10.1139/b90-224>





---

APUNTE

## El sector forestal y su evolución, la situación actual de los bosques nativos y costos de rehabilitación de bosques nativos degradados.

Santiago Barros Asenjo<sup>1\*</sup>; María Molina Brand<sup>2</sup> & Roberto Ipinza Carmona<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal. Gerencia de Investigación y Desarrollo. Instituto Forestal. sbarros@infor.cl

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal MSc. Investigadora. Instituto Forestal, sede Biobío.

<sup>3</sup> Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Investigador. Instituto Forestal. Sede Los Ríos.

\*Autor para correspondencia (arial 8)

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.578>

Recibido: 15.11.2022; Aceptado 15.12.2022

---

### RESUMEN

Se reseña el sector forestal chileno y la situación actual de sus bosques nativos. Se describe una experiencia de rehabilitación mediante plantación suplementaria, en la región de los Ríos, de bosques Siempreverde degradados por intervenciones extractivas del pasado y posterior invasión de quilantales. Se determina los costos de la intervención y se enfatiza la necesidad de emplear material genético adecuado para la misma, aspecto que es determinante para el éxito y para la capacidad de adaptación de la nueva población frente a las cambiantes condiciones ambientales que está generando el cambio climático.

Se efectúa también una estimación de costos para intervenciones de este tipo en el segmento de pequeños y medianos propietarios (PYMP), asumiendo plantaciones de 600 árb/ha y situaciones alternativas en cuanto a los costos de éstas según el nivel de degradación del bosque. Se supone además que, el Estado a través de sus instituciones del Agro encontrará los mecanismos para poner a disposición de los propietarios plantas adecuadas para las iniciativas de rehabilitación de bosques, dado que por sus costos y por la capacidad técnica necesaria, las etapas de selección de procedencias, colecta de semillas y producción de plantas no pueden ser abordadas por los propietarios de este segmento. Se concluye que los costos oscilan entre los 2,5 MM\$/ha y 1,3 MM\$/ha y que las bonificaciones de la Ley de Bosque Nativo, en su estado actual, solo cubriría entre el 21 y 42% del costo total.

**Palabras clave:** Bosque nativo, rehabilitación, bosque degradado, costos

### SUMMARY

The Chilean forestry sector and the current situation of its native forests are reviewed. It describes an experience of rehabilitation through supplementary planting in the Los Ríos region of evergreen forests degraded by extractive interventions in the past and subsequent invasion of quila (*Chusquea quila*). The costs of the intervention are determined and the need to use adequate genetic material for the intervention is emphasized, which is a determining factor for the success and adaptability of the new population in the face of the changing environmental conditions generated by climate change.

A cost estimate is also made for interventions of this type in the small and medium landowner segment (PYMP), assuming plantations of 600 arb/ha and alternative situations in terms of costs depending on the level of degradation of the forest. It is also assumed that the State, through its agricultural institutions, will find mechanisms to make suitable plants available to landowners for their forest rehabilitation initiatives, given that the cost and technical capacity required for the selection of provenances, seed collection and plant production stages cannot be met by landowners in this segment, especially small landowners. It is concluded that the costs range between 2.5 MM\$/ha and 1.3 MM\$/ha and that the bonuses of the Native Forest Law, in its current state, would only cover between 21 and 42% of the total cost.

**Key words:** Native forests, degraded forests rehabilitation, costs

---

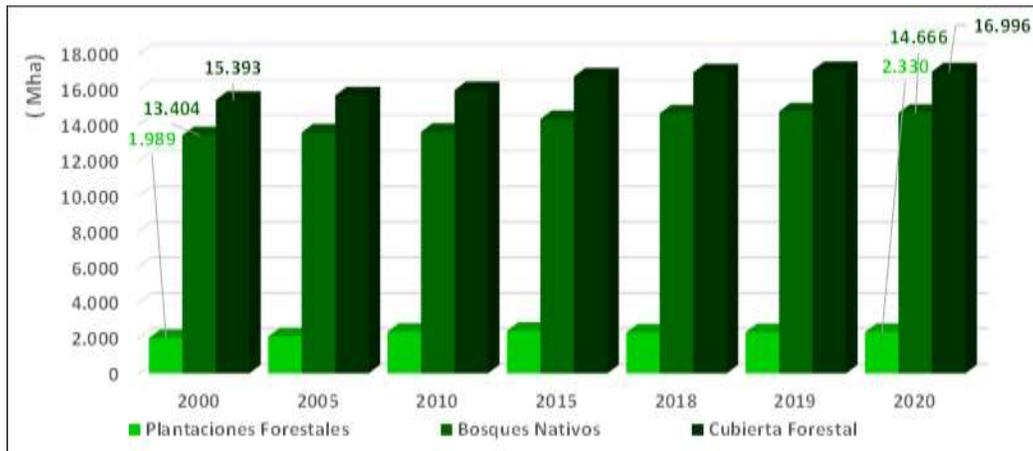
## EL SECTOR FORESTAL

De acuerdo al Anuario Forestal 2022 del Instituto Forestal (INFOR), que entrega las estadísticas sectoriales (Álvarez *et al.*, 2022), Chile dispone de una cubierta forestal de 17 MMha<sup>20</sup>, de la cual 14,7 MMha corresponden a bosques nativos y 2,3 MMha a plantaciones forestales.

Los bosques nativos están clasificados en 12 Tipos Forestales de acuerdo a las principales especies que los componen y están distribuidos a través de todas las regiones del país.

Las plantaciones forestales en tanto, se encuentran muy mayoritariamente ubicadas entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos, están compuestas principalmente por *Pinus radiata* D. Don, *Eucalyptus globulus* Labill y *Eucalyptus nitens* Deane *et* Maiden, y secundariamente por diversas otras especies de los mismos géneros y algunas de otros géneros como *Acacia*, *Atriplex*, *Larix*, *Populus*, *Pseudotsuga* y otros.

Chile es uno de los pocos países en el mundo que muestran un incremento de su cubierta forestal, durante los últimos 20 años esta ha aumentado de 15,4 a 17,0 MMha como resultado de la recuperación natural de áreas de bosques nativos (1,26 MMha en el período) y la mayor superficie de plantaciones (0,34 MMha en el período). Hoy la cubierta forestal representa el 22,5% de la superficie nacional (Álvarez *et al.*, 2022) (Figura 1)



(Fuente: Elaboración propia en base a Álvarez *et al.*, 2022)

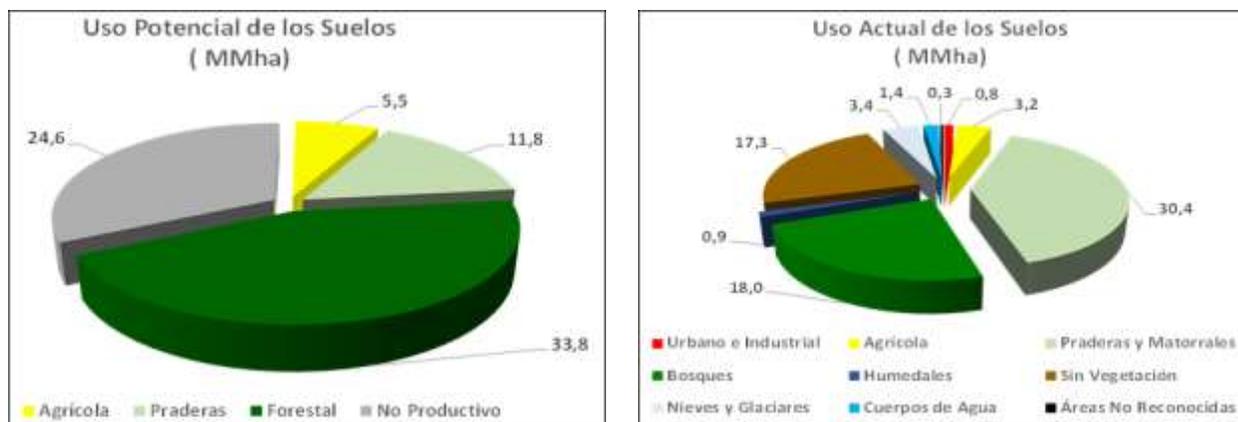
**Figura 1.** Cubierta Forestal

Sin embargo, el país perdió históricamente grandes superficies de bosques nativos desde las épocas de La Conquista y La Colonia hasta mediados del siglo pasado, como resultado de incendios forestales y malas prácticas agrícolas, ganaderas y forestales. Los bosques eran quemados para despejar terrenos para agricultura y ganadería y también se extraía madera de ellos en forma insostenible.

Si se compara el uso potencial de los suelos del país con el uso actual de estos, resulta fácil inferir que en la época prehispánica la superficie boscosa era a lo menos el doble que la actual (Figura 2).

No obstante, el Inventario Forestal Continuo que desarrolla INFOR anualmente arroja que los bosques nativos del país contienen existencias madereras brutas fustales de 2.223 MMm<sup>3</sup> y su crecimiento anual es de 82 MMm<sup>3</sup> (Sagardía *et al.*, 2021).

<sup>20</sup> MMha: Millones de hectáreas; Mha: Miles de hectáreas



(Fuente: Elaboración propia en base a SAG-ODEPA, 1968)

(Fuente: Elaboración propia en base a Álvarez *et al.*, 2022)

**Figura N°2.** Uso Potencial y Uso Actual de los Suelos

El país cuenta con una desarrollada industria forestal en los ámbitos de la celulosa y papel, la madera aserrada, los tableros, chapas y otros productos. El consumo anual de madera en trozas para fines industriales está sobre los 40 MMm<sup>3</sup>.

Este consumo de madera por la industria forestal se traduce en una importante producción de madera aserrada, pulpa química, tableros y otros productos que, además de satisfacer las demandas de los mercados internos, se exportan a los mercados externos generando anualmente retornos por valores cercanos a 6.000 MM US\$ FOB.

Más del 65% de la superficie de plantaciones forestales se encuentra bajo manejo forestal, empleándose en ella silvicultura intensiva según la calidad de los sitios y productos objetivos, esto es material genético con distintos grados de mejoramiento, técnicas intensivas de establecimiento y diferentes regímenes de rotación y de podas y raleos.

El 35% restante corresponde principalmente a plantaciones de pequeños propietarios que enfrentan diversas brechas económicas y tecnológicas que les dificultan aplicar técnicas silvícolas intensivas que agreguen valor a sus bosques, situación que evidentemente se refleja en los rendimientos y en el valor de sus productos al final de la rotación.

Los bosques nativos en tanto, fragmentados y mayoritariamente degradados por inadecuadas prácticas del pasado, no están bajo manejo. Este recurso en general ve permanentemente comprometida su regeneración natural por presencia de ganado y, además, las antiguas prácticas de “floreo” (extracción de los mejores ejemplares de las especies de mayor valor) lo han empobrecido en su composición de especies y lo han sometido a una selección genética negativa.

El principal consumo actual en estos bosques está dado por extracción de leña, actividad mayormente informal y escasamente controlada y fiscalizada.

Es así como las plantaciones forestales proveen el 99,7% de la madera que anualmente se consume para fines industriales, generándose desde los bosques nativos solo unos 130 Mm<sup>3</sup> (0,3%) que se destinan principalmente a madera aserrada y tableros y chapas (Álvarez *et al.*, 2022).

En el Cuadro 1 se muestra en grandes cifras la situación de los recursos forestales, en términos de su función y su tenencia. De las cifras del cuadro se puede destacar que aproximadamente el 60% de la superficie de bosques nativos está bajo protección directa (SNASPE) o indirecta, dado que a aquellos bosques de protección fuera del SNASPE por ley no se los puede intervenir.

Respecto de los bosques considerados comerciales, en distintos momentos se han dado cifras muy dispares (4 a 8 MMha), situación que sin duda requiere de un estudio de detalle, dado que múltiples factores inciden en esto, como nivel de degradación, ubicación, topografía, accesibilidad, especies que los componen, propietarios y otros.

Se trata de bosques con diferentes niveles de degradación que es necesario someter a manejo forestal sostenible, recuperándolos, mejorándolos y poniéndolos en valor con la producción de ciertos volúmenes de madera y el consiguiente beneficio para sus propietarios, muy mayoritariamente del segmento de pequeños y medianos.

**Cuadro 1.** Situación de los Recursos Forestales

Bosque nativo función		(MMha)
<b>Total</b>		<b>14,7</b>
Protección y Conservación SNASPE	4,3 Parques Nacionales y Reservas Forestales	
Protección y Conservación fuera de SNASPE	4,7 Pendientes fuertes, protección de suelos y cursos de agua, y especies protegidas	
Considerados Comerciales*	5,7 Bosques que bajo manejo forestal sostenible pueden generar ciertos volúmenes de madera	
Bosque nativo tenencia		(MMha)
<b>Total</b>		<b>14,7</b>
SNASPE	4,3 Parques Nacionales y Reservas Forestales	
Estatales fuera de SNASPE	1,0 Zonas insulares, otros	
Grandes propietarios	2,0 Grandes y medianas empresas, áreas protegidas privadas	
PYMP	7,4 Pequeños y medianos propietarios	
Plantaciones forestales tenencia		(MMha)
<b>Total</b>		<b>2,3</b>
Grandes propietarios	1,5 Grandes y medianas empresas	
PYMP	0,8 Pequeños y medianos propietarios	

PYMP: Medianos <5.000 ha, Pequeños < 200ha. SNASPE: Sistema nacional de áreas Silvestres Protegidas del Estado.

\*Parte de los tipos forestales Siempreverde, Lengua, Roble-Raulí-Coihue, Coihue-Raulí-Tepa y Coihue de Magallanes.

Cifras en negro tienen como fuente diferentes publicaciones de INFOR como Álvarez *et al.*, 2022; Soto *et al.*, 2021; Büchner *et al.*, 2018.

Cifras en verde corresponden a estimaciones aproximadas.

En cuanto a la propiedad cerca del 65% de los bosques nativos son privados y prácticamente la totalidad de las plantaciones forestales lo son, exceptuando solo superficies menores de estas últimas existentes en algunas Reservas Forestales del Estado, como Peñuelas, Malalcahuello y otras.

En el Cuadro 2 se resume la evolución del sector forestal desde los años 70 del siglo pasado hasta la actualidad. Las cifras ponen en evidencia el fuerte desarrollo de las plantaciones forestales y de la industria forestal basada en este recurso.

El crecimiento era permanente hasta que distintos factores, como el fin de los incentivos estatales a la forestación del segmento de los Pequeños y Medianos Propietarios (PYMP) en el año 2012, los grandes incendios forestales en 2017 y la pandemia mundial del COVID (2020 y 2021), que aún permanece en menor grado, han detenido este crecimiento sectorial en los últimos años.

En el año 2012 expiró el DL N°701 en lo referente a los incentivos estatales a la forestación y esta cayó dramáticamente (600 ha en 2021), con lo que la tasa de plantación anual comprende ahora solo la reforestación sin incentivos del Estado, que representa la reposición de las superficies cosechadas para el abastecimiento industrial, actividad obligatoria por ley de acuerdo al DL N°701 e indispensable dadas las grandes inversiones industriales en las áreas de la celulosa y papel, del aserrío y de distintos tipos de tableros.

Cuadro 2. Evolución del Sector Forestal 1973 – 2021

Evolución del Sector Forestal 1973 a 2021																
Item		1973	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021	Variación Periodo
<b>Superficie Plantaciones</b>																
Total	(Mha)	450		795	1.189	1.461	1.818	1.989	2.083	2.342	2.397	2.304	2.321	2.330		1.880
Pino radiata	(Mha)	400		717	1.040	1.243	1.380	1.475	1.419	1.472	1.400	1.286	1.299	1.293		893
Eucaliptos	(Mha)			33	51	102	302	359	540	717	949	857	855	901		868
Otras especies	(Mha)	50		44	97	116	136	156	124	153	147	162	167	135		85
Participación eucaliptos y otras especies	(%)	11,1		9,8	12,5	14,9	24,1	25,9	31,8	37,2	41,6	44,2	44,0	44,5		33,4
<b>Superficie Bosques Nativos</b>																
	(Mha)							13.404	13.564	13.600	14.317	14.634	14.745	14.666		1.262
<b>Cubierta Forestal</b>																
	(Mha)							15.393	15.647	15.942	16.714	16.938	17.066	16.996		1.602
<b>Tasa Plantación Anual</b>																
Total	(Mha)	30,3	83,0	72,3	96,3	94,1	99,9	102,4	133,8	92,0	90,6	100,8	127,1	79,1	63,8	33,5
Forestación	(Mha)						60,3	44,3	73,3	20,2	3,0	1,4	1,0	0,6	0,6	-56,6
Reforestación	(Mha)						39,6	58,0	60,5	71,7	87,6	99,4	126,1	78,1	63,2	23,6
<b>Corta Anual</b>																
Total	(Mhm <sup>2</sup> )		4,04	8,47	9,56	14,26	24,88	24,44	32,66	34,60	43,63	47,85	45,31	43,56	43,87	39,83
Pino radiata	(Mhm <sup>2</sup> )		3,56	7,61	8,66	10,72	18,55	18,81	25,73	22,89	30,69	31,92	30,13	28,32	29,81	26,25
Eucaliptos	(Mhm <sup>2</sup> )							3,99	5,96	10,88	12,10	15,31	14,68	14,76	13,65	9,66
Otras especies	(Mhm <sup>2</sup> )		0,48	0,86	0,90	3,54	6,34	0,17	0,33	0,37	0,47	0,35	0,37	0,28	0,30	-0,18
Bosques nativos	(Mhm <sup>2</sup> )							1,48	0,66	0,43	0,38	0,26	0,22	0,18	0,13	-1,35
Participación bosques nativos	(%)							6,06	1,99	1,24	0,87	0,54	0,49	0,41	0,30	-5,76
<b>Exportaciones Forestales</b>																
	(MUS\$ FOB)		126	488	335	856	2.368	2.365	3.496	4.955	5.439	6.838	4.662	4.948	5.969	5.843

(Fuente: Elaboración propia en base a INFOR, 1992; INFOR, 2002; Soto *et al.*, 2021; Álvarez *et al.*, 2022)

En la temporada 2016 - 2017 grandes incendios forestales afectaron la zona centro-sur del país, se perdieron 282 Mha de plantaciones forestales, principalmente en las regiones de O'Higgins (38 Mha), Maule (173 Mha) y Biobío (64 Mha) (Álvarez *et al.*, 2022).

Desde el año 2020 la pandemia mundial del COVID obligó a los gobiernos en todo el mundo a imponer una serie de restricciones, como confinamientos (cuarentenas), limitaciones de reunión y desplazamientos y otras, que limitaron y entorpecieron toda actividad humana afectando en mayor o menor medida la economía de los países. El sector forestal chileno no es la excepción y se vio afectada la tasa de plantación anual, la producción y las exportaciones.

Las cifras del Cuadro 2 y las Figuras 3 a 6 ponen en evidencia situaciones preocupantes respecto del recurso y la producción. La fuerte caída de la forestación en la última década y las grandes pérdidas de plantaciones debidas a los incendios forestales han comprometido la disponibilidad de madera.

La última proyección de la disponibilidad de este recurso (2017 - 2047) realizada por INFOR (Büchner *et al.*, 2018) indica claramente que un nivel de consumo de madera como el registrado en el año 2018 no será posible en al menos los próximos 20 años, con su evidente impacto en la producción y en las exportaciones, y con un negativo efecto en la pyme maderera, que verá muy limitado su abastecimiento de materia prima dado que la demanda por esta de parte de la industria de celulosa y papel y de los grandes aserraderos es muy dura debido a las grandes inversiones involucradas en este parque industrial.



Figura 3. Tasa de Plantación Anual

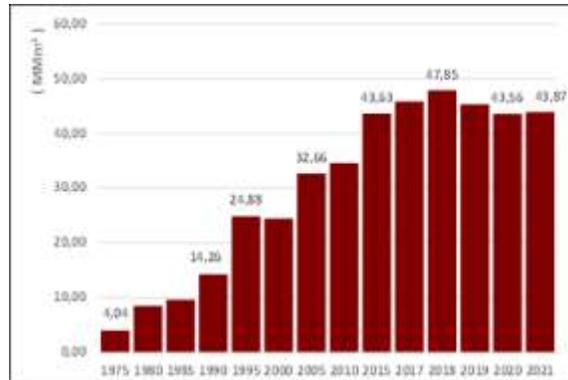


Figura 4. Consumo Anual de Madera

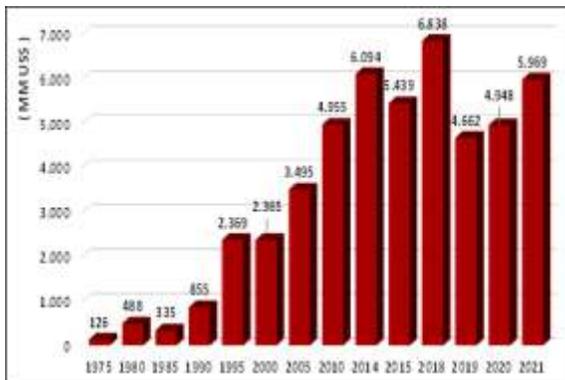


Figura 5. Exportaciones Forestales

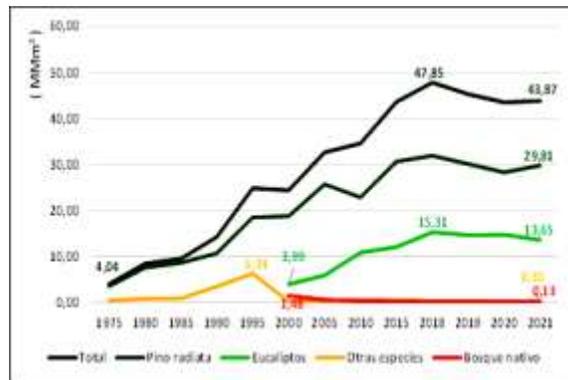


Figura 6. Consumo Anual Madera por Especies

Parece así, de evidente conveniencia reponer el incentivo del Estado a la forestación para el segmento PYMP y hacerlo extensivo también a la recuperación de las plantaciones quemadas de este mismo segmento de propietarios, no solo de los recursos perdidos en los grandes incendios de 2016-2017 sino también en temporadas posteriores y futuras, ya que estos siniestros dejan a los propietarios descapitalizados y no disponen de los recursos para cumplir con la reforestación a la que quedarían obligados.

Al respecto, no se debe olvidar que los incendios forestales en Chile son un problema recurrente cada temporada y son provocados por el hombre, sea por descuido o irresponsabilidad, o por la acción de delincuentes que los generan en forma intencional, situación que además se ve agravada por las reducciones de precipitaciones y los aumentos de temperaturas que crecientemente impone el cambio climático. Ante esto el segmento PYMP es el más vulnerable, debido a menor vigilancia de los predios y menores medios para prevención y combate de estos siniestros.

Lo anterior resulta de más interés aún si se considera que a lo largo del país existen extensas superficies de suelos forestales desarbolados y bajo fuertes procesos de erosión, los que podrían ser forestados. Un estudio realizado por la Corporación Nacional Forestal (Beltrán, 2013), identificando suelos forestales desprovistos de vegetación arbórea, concluye que entre las regiones de O'Higgins y Aysén habrían 2,63 MMha de suelos potencialmente forestables. Si este estudio hubiese incluido también las Regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana, por el norte, y la Región de Magallanes, por el sur, esta cifra excedería con mucho los 3 MMha.

Las exportaciones forestales, de acuerdo a las estadísticas de INFOR, se ven en recuperación en 2021 y se proyecta un fuerte incremento en 2022 (Álvarez & Bañados, 2022), incluso la tendencia hasta agosto

indica que podrían superar su máximo nivel histórico alcanzado en 2018 y llegar a algo más de 7.000 MMUS\$ FOB. Sin embargo, esta significativa recuperación está dada principalmente por aumentos en los precios de los productos en los mercados externos y no por un mayor volumen de estos, y no resulta sostenible en el tiempo, dada la ya comentada menor disponibilidad de madera para los próximos 20 años.

Otra situación sin duda preocupante es la casi nula participación de los bosques nativos en la producción sectorial, los que, aunque mayoritariamente degradados, contienen grandes existencias madereras que crecen a razón de más de 80 MMm<sup>3</sup> anualmente (Sagardía *et al.*, 2021).

Buena parte de ellos está bajo conservación y protección dentro del SNASPE, y otra parte importante corresponde a bosques de protección fuera del SNASPE, para conservación de suelos en fuertes pendientes, protección de cursos de agua, o que en su composición contienen especies forestales protegidas por ley, como alerce o araucaria.

No obstante, existen varios millones de hectáreas de formaciones consideradas comerciales, principalmente de los Tipos Forestales Siempreverde, Lengua y Roble-Raulí-Coihue, que deben ser puestos en valor mediante manejo forestal sostenible, sea para rehabilitarlos y enriquecerlos mediante plantaciones suplementarias en ellos cuando su nivel de degradación es alto o, si esta degradación es menor, mediante raleos y otras intervenciones silvícolas apropiadas que permitan obtener ciertos volúmenes de madera y propiciar un mejor desarrollo futuro, favoreciendo el crecimiento del bosque y la regeneración natural.

Esto exige también una readecuación de la Ley de Bosque Nativo (N°20283 de 2008), de muy escasa aplicación hasta ahora, con el fin que los incentivos estatales al manejo de bosques nativos efectivamente cubran los costos involucrados en las diferentes intervenciones silvícolas. Estos incentivos son concursables y el presupuesto anual para operar esta ley es bajo.

De momento existe temor en los propietarios para presentar planes de manejo, dado que los incentivos son insuficientes y además no contemplan todas las actividades necesarias, por lo que ven un importante riesgo de caer en incumplimiento de los planes presentados, no recuperar la inversión efectuada y verse afectados por eventuales multas.

La puesta bajo manejo sostenible de estos recursos nativos permitiría una oferta de madera de buena calidad para la construcción, la mueblería y muchos otros usos, y generaría un importante desarrollo rural, ya que estos bosques se encuentran muy mayoritariamente en manos del segmento PYMP.

Sin embargo, esto tendría que estar acompañado de mejoramientos en las tecnologías de aserrío, de remanufactura y de secado de la madera, para asegurar la calidad de esta, y también de cambios en el paradigma de las dimensiones de la madera, desde la obtención de las trozas en el bosque hasta la comercialización de la madera aserrada y elaborada.

Tradicionalmente se usa en bosques nativos una longitud de trozas de 3,60 m, e incluso mayor, en circunstancias que pocas aplicaciones de la madera requieren tal dimensión y con esto se desperdicia madera en el bosque y se dificulta el maderero y el transporte a plantas de proceso. Esto haría necesario un estudio cuidadoso para definir dimensiones de la madera adecuadas para sus diferentes aplicaciones y acordes con lo que los bosques y las distintas especies pueden ofrecer.

Como ejemplo, en construcción, para muros o revestimientos de muros 2,20 o 2,30 m, para puertas o ventanas menores dimensiones y para mueblería piezas mucho más cortas son de gran utilidad, en especial de especies como avellano, lingue, raulí, mañío y otras muy adecuadas y apreciadas para este fin.

Existen diversas técnicas en remanufactura de gran ayuda para estas aplicaciones, como los diferentes tipos de molduras o encolados para uniones laterales, laminados encolados para uniones frontales y el sistema *finger joint* para uniones longitudinales.

El futuro de los bosques nativos considerados comerciales, está muy probablemente en el uso de madera cortas y en un mayor desarrollo e innovación en la industria secundaria de la madera, mejorándolos bajo manejo sostenible y generando valiosa madera para variadas aplicaciones.

## EL BOSQUE NATIVO

Como se mencionó inicialmente, hay presencia de boques nativos en todas las regiones del país, desde poblaciones del Tipo Forestal Esclerófilo en las regiones del norte hasta los extensos bosques de diversos Tipos Forestales hacia el sur.

### Superficies según Tipo Forestal y Distribución Regional

Los Tipos Forestales reciben el nombre de la o las especies dominantes en ellos, pero en general presentan combinaciones de especies y de numerosas especies en algunos casos. Estas combinaciones de especies varían a lo largo de su distribución latitudinal y altitudinal, en especial en los tipos de amplia distribución natural en el país, como Esclerófilo, Siempreverde y Roble-Raulí-Coihue.

La mayor superficie boscosa se presenta desde la región de Los Lagos a la de Magallanes, que reúnen el 67% del total, es especial la región de Aysén con el 30%. En cuanto a los Tipos Forestales, los más extensos son Siempreverde y Lengua, con el 25,3% y el 25,1% del total, respectivamente, y el 50,4% en conjunto (Cuadro 3 y Figuras 7 y 8).

**Cuadro 3.** Superficie de Bosques Nativos por Tipo Forestal y Región

Bosque Nativo según Región y Tipo Forestal								
Región	Arica	Tarapacá	Antofagasta	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	Metropolitana	O'Higgins
Tipo Forestal	Superficie ( ha )							
Esclerófilo	47.151	33.246	11.899	3.224	48.194	403.775	350.437	418.879
Palma Chilena						8.123	3.094	4.343
Roble - Hualo						1.132	10.348	33.187
Ciprés de la Cordillera						21	76	2.901
Siempreverde					281			
<b>Total</b>	<b>47.151</b>	<b>33.246</b>	<b>11.899</b>	<b>3.224</b>	<b>48.475</b>	<b>413.051</b>	<b>363.955</b>	<b>459.310</b>
Región	Maule	Ñuble	Bio Bio	La Araucanía	Los Rios	Los Lagos	Aysén	Magallanes
Tipo Forestal	Superficie ( ha )							
Esclerófilo	213.631	19.390	20.755	636	203	499		
Roble - Hualo	172.737	13.375						
Ciprés de la Cordillera	12.960	6.076	18.220	13.560		19.163		
Roble - Raulí - Coihue	172.506	153.974	360.084	470.860	252.801	244.655		
Coihue - Raulí - Tepa		3.679	48.416	120.421	280.321	393.084		
Lengua	9.681	49.908	97.709	108.655	143.023	509.898	1.400.378	1.373.880
Araucaria			38.796	199.460	13.961			
Siempreverde		1.578	13.593	50.562	206.032	1.282.188	1.899.864	270.105
Alerce					7.770	208.360		
Coihue de Magallanes					4.337	126.502	939.169	888.098
Ciprés de Las Guaitecas					83	43.088	159.334	228.094
<b>Total</b>	<b>581.515</b>	<b>247.980</b>	<b>597.573</b>	<b>964.154</b>	<b>908.531</b>	<b>2.827.437</b>	<b>4.398.745</b>	<b>2.760.177</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Álvarez et al., 2022)

- Especies principales del tipo, palma chilena (*Jubaea chilensis*), araucaria (*Araucaria araucana*) y alerce (*Fitzroya cupressoides*) protegidas por ley.
- Principales tipos con presencia de bosques considerados comerciales.

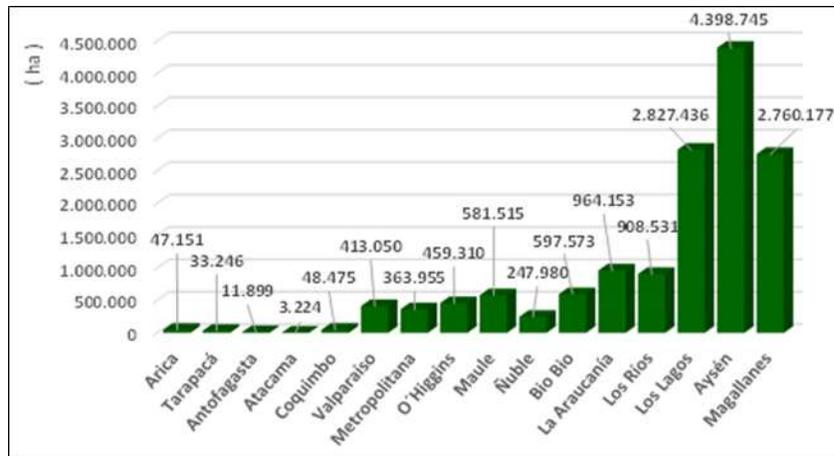


Figura 7. Bosques Nativos según Región

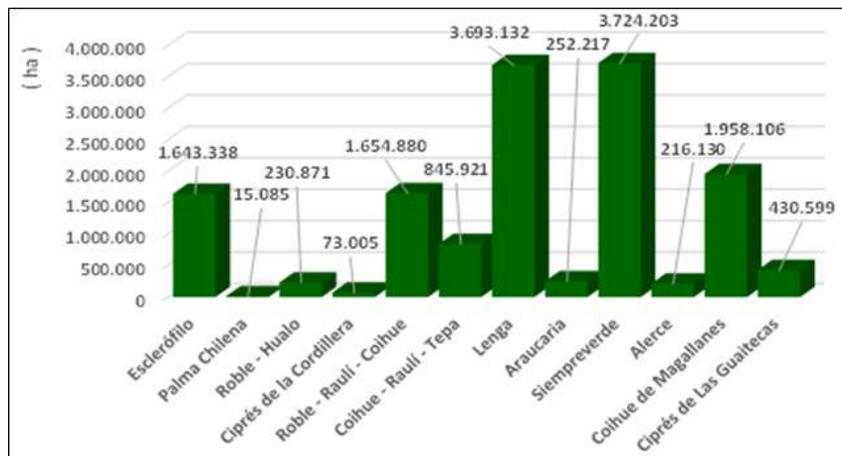


Figura 8. Bosques Nativos según Tipo Forestal

### Principales Especies en los Tipos Forestales

- *Tipo Forestal Esclerófilo*

Es una formación característica de las zonas áridas y semiáridas, aunque tiene una gran distribución latitudinal, llegando hasta la región de Los Lagos. Su mayor concentración está entre las regiones de Valparaíso y Maule, con presencia principalmente de espino, quillay y litre. Muestra múltiples variaciones desde Arica hasta Los Lagos, como las formaciones de queñoa en precordillera y altiplano en el extremo norte; tamarugo y algarrobo blanco en la Pampa del Tamarugal; y algunas formaciones muy dispersas de algarrobo en las Regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana.

Se presentan combinaciones con boldo, características de las áreas costeras de las regiones de Valparaíso y O'Higgins, y con frangel, en áreas precordilleranas principalmente de la región Metropolitana. Hay asimismo combinaciones con belloto, lingue, maitén, canelo y olivillo, en quebradas y sectores más húmedos en la zona central del país.

Hacia el sur desaparecen especies como litre, espino y otras, combinándose quillay, peumo, maitén, patagua, con algunas especies de los tipos presentes en esas latitudes.

Se trata en general de formaciones de baja densidad y limitado tamaño de los árboles y se encuentran degradadas por sobreutilización para leña y carbón y por prácticas ganaderas extensivas que limitan o impiden su regeneración. Las especies de cierto interés comercial son algarrobos, tamarugo y chañar en la zona norte y quillay, espino y boldo hacia el sur.

Especies del tipo forestal Bosque Esclerófilo:

Algarrobo blanco ( <i>Prosopis alba</i> )	Lingue ( <i>Persea lingue</i> )
Algarrobo chileno ( <i>Prosopis chilensis</i> )	Litre ( <i>Lithraea caustica</i> )
Arrayán del norte ( <i>Luma chequen</i> )	Maitén ( <i>Maytenus boaria</i> )
Arrayán del sur ( <i>Luma apiculata</i> )	Molle ( <i>Schinus latifolius</i> )
Boldo ( <i>Peumus boldus</i> )	Olivillo ( <i>Aextoxicon punctatum</i> )
Belloto ( <i>Beilshmiadia miersii</i> )	Patagua ( <i>Crinodendron patagua</i> )
Canelo ( <i>Drymis winteri</i> )	Peumo ( <i>Cryptocarya alba</i> )
Carbonillo ( <i>Cordia decandra</i> )	Pimiento ( <i>Schinus molle</i> )
Chañar ( <i>Geoffroea decorticans</i> )	Queñoa ( <i>Polylepis tarapacana</i> )
Espino ( <i>Acacia caven</i> )	Quillay ( <i>Quillaja saponaria</i> )
Frangel ( <i>Kageneckia angustifolia</i> )	Tamarugo ( <i>Prosopis tamarugo</i> )
Guayacán ( <i>Porlieria chilensis</i> )	

- *Tipo Forestal Palma Chilena*

Formación característica de sectores del Valle Central y Cordillera de la Costa de la zona semiárida en las Regiones de Valparaíso y O'Higgins, con alguna presencia en la Región Metropolitana, dominada por la palma chilena, en formaciones puras o combinadas con especies del Tipo Forestal Esclerófilo, como espino, quillay y otras. Se trata de un tipo de reducida superficie, muy localizado en los sectores de Ocoa, región de Valparaíso, y Cocalán, región de O'Higgins. En tiempos pasados la especie fue intensamente explotada para producir miel de palma, producto obtenido de su savia, y hasta ahora sus frutos (cocos) son empleados en confitería y pastelería. Hoy la palma chilena es una especie protegida, ha sido declarada Monumento Natural.

Especies del tipo forestal Palma Chilena

Boldo ( <i>Peumus boldus</i> )	Palma chilena ( <i>Jubaea chilensis</i> )
Canelo ( <i>Drymis winteri</i> )	Patagua ( <i>Crinodendron patagua</i> )
Espino ( <i>Acacia caven</i> )	Peumo ( <i>Cryptocarya alba</i> )
Litre ( <i>Lithraea caustica</i> )	Quillay ( <i>Quillaja saponaria</i> )
Maitén ( <i>Maytenus boaria</i> )	

- *Tipo Forestal Roble – Hualo*

Domina en esta formación hualo o roble maulino, el tipo se presenta entre las regiones de Valparaíso y Biobío, alcanzando su máxima expresión en la región del Maule. Hacia el norte pueden participar en la formación roble del norte y algunas especies del Tipo Esclerófilo y hacia el sur se pueden agregar roble, raulí y coihue y otras especies de Tipos Forestales vecinos.

Especies del tipo forestal Roble-Hualo:

Arrayán del norte ( <i>Luma chequen</i> )	Mañío de hojas largas ( <i>Podocarpus saligna</i> )
Avellano ( <i>Gevuina avellana</i> )	Olivillo ( <i>Aextoxicon punctatum</i> )
Boldo ( <i>Peumus boldus</i> )	Patagua ( <i>Crinodendron patagua</i> )
Canelo ( <i>Drymis winteri</i> )	Pitao ( <i>Pitavia punctata</i> )
Ciprés de la cordillera ( <i>Austrocedrus chilensis</i> )	Queule ( <i>Gomortega queule</i> )
Coihue ( <i>Nothofagus dombeyi</i> )	Radal ( <i>Lomatia hirsuta</i> )
Hualo ( <i>Nothofagus glauca</i> )	Raulí ( <i>Nothofagus alpina</i> )
Lingue ( <i>Persea lingue</i> )	Roble ( <i>Nothofagus obliqua</i> )
Litre ( <i>Lithraea caustica</i> )	Roble del norte ( <i>Nothofagus macrocarpa</i> )

- *Tipo Forestal Ciprés de la Cordillera*

La especie que lo caracteriza es la conífera ciprés de la cordillera, ocupa una larga faja en la precordillera andina desde la zona central del país, región Metropolitana, hasta el sur de la región de Los Lagos.

Dada la extensa distribución latitudinal del tipo, la especie principal se puede presentar combinada con diversas otras de los Tipos Forestales colindantes.

Especies del tipo forestal Ciprés de la Cordillera:

Ciprés de la cordillera ( <i>Austrocedrus chilensis</i> )
---

- *Tipo Forestal Roble - Raulí - Coihue*

Las especies dominantes son roble, raulí y coihue, principalmente en formaciones de segundo crecimiento, originadas en rebrotes después de incendios o de cortas anteriores. El tipo se extiende entre las regiones del Maule y Los Lagos y presenta subtipos de norte a sur en que dominan estas tres especies o coihue, regiones del Maule y Biobío, o roble, regiones del Maule a Los Lagos. Cabe destacar que en este tipo dominan ya tres de las principales especies del bosque nativo chileno, considerando su porte, su abundancia relativa y el valor económico de sus maderas, en especial raulí. Además, esta formación es la cuarta de mayor extensión con una superficie cercana a 1,6 MMha y una buena proporción de bosques considerados comerciales.

Especie del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue:

Arrayán del sur ( <i>Luma apiculata</i> )	Olivillo ( <i>Aextoxicon punctatum</i> )
Avellano ( <i>Gevuina avellana</i> )	Radal ( <i>Lomatia hirsuta</i> )
Coihue ( <i>Nothofagus dombeyi</i> )	Raulí ( <i>Nothofagus alpina</i> )
Fuinque ( <i>Lomatia ferruginea</i> )	Roble ( <i>Nothofagus obliqua</i> )
Laurel ( <i>Laurelia sempervirens</i> )	Tepa ( <i>Laureliopsis philippiana</i> )
Luma ( <i>Amomyrtus luma</i> )	Tino ( <i>Weinmania trichosperma</i> )
Mañío de hojas largas ( <i>Podocarpus saligna</i> )	Trevo ( <i>Dasyphyllum diacanthoides</i> )
Mañío macho ( <i>Podocarpus nubigenus</i> )	

- *Tipo Forestal Coihue - Raulí – Tepa*

Formación natural que se distribuye entre el sur de la región del Biobío y la región de Los Lagos. Dominan en ella coihue, raulí y tepa, y varía en subtipos en los que puede presentarse como dominante coihue sin presencia de las otras y puede aparecer roble o coihue y tepa sin presencia de raulí.

Especies del tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa:

Coihue ( <i>Nothofagus dombeyi</i> )	Raulí ( <i>Nothofagus alpina</i> )
Mañío de hojas largas ( <i>Podocarpus saligna</i> )	Roble ( <i>Nothofagus obliqua</i> )
Mañío macho ( <i>Podocarpus nubigenus</i> )	Tepa ( <i>Laureliopsis philippiana</i> )
Lenga ( <i>Nothofagus pumilio</i> )	Tino ( <i>Weinmania trichosperma</i> )
Olivillo ( <i>Aextoxicon punctatum</i> )	Ulmo ( <i>Eucryphia cordifolia</i> )

- *Tipo Forestal Siempreverde*

Se trata de la formación natural más extensa, supera los 3,72 MMha entre las regiones de Ñuble y Magallanes, aunque fuertemente concentrada (3,2 MMha) en las regiones de Los Lagos y Aysén.

Presenta varios subtipos dentro de su distribución, incluyendo formaciones aisladas de olivillo en las regiones de Coquimbo y Valparaíso y formaciones de tepú entre las regiones del Biobío y Magallanes. Incluye también renovales de canelo, principalmente en la región de Los Lagos, y bosques con dominancia de *Myrtaceas*, como luma, meli y arrayán del sur, entre las regiones del Maule y Aysén, principalmente región de Los Lagos.

Se suma el subtipo Siempreverde, muy característico de la región de Los Lagos. En diferentes sectores pueden dominar la formación diversas especies, como ulmo, laurel, tineo, mañío macho, ciruelillo, canelo, radial, avellano, lingue y olivillo. Finalmente se agregan los extensos bosques del sub tipo Coihue de Chiloé en que domina coihue de Chiloé en las regiones de Los Lagos y Aysén.

Especies del tipo forestal Siempreverde:

Arrayán del sur ( <i>Luma apiculata</i> )	Mañío macho ( <i>Podocarpus nubigenus</i> )
Avellano ( <i>Gevuina avellana</i> )	Meli ( <i>Amomyrtus meli</i> )
Canelo ( <i>Drymis winteri</i> )	Olivillo ( <i>Aextoxicon punctatum</i> )
Ciruelillo ( <i>Embothrium coccineum</i> )	Radial ( <i>Lomatia hirsuta</i> )
Coihue ( <i>Nothofagus dombeyi</i> )	Roble ( <i>Nothofagus obliqua</i> )
Coihue de Chiloé ( <i>Nothofagus nítida</i> )	Tepa ( <i>Laureliopsis phillipiana</i> )
Laurel ( <i>Laurelia sempervirens</i> )	Tepú ( <i>Tepualia stipularis</i> )
Lingue ( <i>Persea lingue</i> )	Tiaca ( <i>Caldecluvia paniculata</i> )
Luma ( <i>Amomyrtus luma</i> )	Tino ( <i>Weinmania trichosperma</i> )
Mañío de hojas largas ( <i>Podocarpus saligna</i> )	Trevo ( <i>Dasyphyllum diacanthoides</i> )
Mañío hembra ( <i>Saxegothea conspicua</i> )	Ulmo ( <i>Eucryphia cordifolia</i> )

- *Tipo Forestal Lengua*

Formaciones en las que la especie característica y dominante es lengua y constituyen el segundo tipo de mayor extensión en el país (3,69 MMha) después del Siempreverde. El tipo ocurre entre las regiones del Maule y Magallanes, en zonas altas de precordillera andina en la parte norte y hasta el nivel del mar hacia el sur. Su mayor concentración está desde la región de Los Lagos al sur. Presenta subtipos caracterizados por formaciones puras de lengua o acompañadas de ñirre, que son las más importantes, y por combinaciones con coihue de Magallanes o con coihue. Existe además una variante representada por formaciones puras de ñirre, en las que puede haber participación de roble, coihue o coihue de Magallanes e incluso de araucaria.

Especies del tipo forestal Lengua:

Araucaria ( <i>Araucaria araucana</i> )	Lengua ( <i>Nothofagus pumilio</i> )
Coihue de Magallanes ( <i>Nothofagus betuloides</i> )	Ñirre ( <i>Nothofagus antarctica</i> )
Coihue ( <i>Nothofagus dombeyi</i> )	Roble ( <i>Nothofagus obliqua</i> )

- *Tipo Forestal Araucaria*

Bosques presentes en las regiones del Biobío a Los Ríos, principalmente en la de La Araucanía, donde la especie dominante es araucaria o pehuén, en formaciones puras, o acompañada por especies como coihue y ñirre.

Sus localizaciones son bastante definidas, apareciendo en la Cordillera de la Costa del sur de la Región del Biobío y en sectores del interior de la Región de La Araucanía, principalmente entre Lonquimay y Villarrica.

La especie principal, la araucaria, está protegida, fue declarada Monumento Natural.

Especies del tipo forestal Araucaria:

Araucaria ( <i>Araucaria araucana</i> )	Lengua ( <i>Nothofagus pumilio</i> )
Canelo ( <i>Drymis winteri</i> )	Ñirre ( <i>Nothofagus antarctica</i> )
Coihue ( <i>Nothofagus dombeyi</i> )	Roble ( <i>Nothofagus obliqua</i> )

- *Tipo Forestal Alerce*

El tipo es exclusivo de la región de Los Lagos, se distribuye en áreas de la Cordillera de la Costa en Osorno, Llanquihue y Chiloé, y en áreas interiores de Llanquihue y Palena.

Su especie característica y dominante es alerce, acompañada por algunas especies de los tipos vecinos. La especie principal, alerce, está protegida, fue declarada Monumento Natural.

Especies del tipo forestal Alerce:

Alerce ( <i>Fitzroya cupressoides</i> )	Mañío de hojas largas ( <i>Podocarpus saligna</i> )
Arrayán del sur ( <i>Luma apiculata</i> )	Mañío macho ( <i>Podocarpus nubigenus</i> )
Canelo ( <i>Drymis winteri</i> )	Ñirre ( <i>Nothofagus antarctica</i> )
Coihue ( <i>Nothofagus dombeyi</i> )	Tineo ( <i>Weinmania trichosperma</i> )
Fuinque ( <i>Lomatia ferruginea</i> )	

- *Tipo Forestal Coihue de Magallanes*

Es el tercer tipo de mayor extensión en el país (1,98 MMha), ocurre desde la región de Los Lagos a la de Magallanes y es dominado por la especie que le da el nombre, coihue de Magallanes, acompañada de otras de los tipos vecinos.

Especies del tipo forestal Coihue de Magallanes:

Ciruelillo ( <i>Embothrium coccineum</i> )	Mañío de hojas largas ( <i>Podocarpus saligna</i> )
Coihue ( <i>Nothofagus dombeyi</i> )	Mañío macho ( <i>Podocarpus nubigenus</i> )
Coihue de Magallanes ( <i>Nothofagus betuloides</i> )	Tineo ( <i>Weinmania trichosperma</i> )
Lenga ( <i>Nothofagus pumilio</i> )	

- *Tipo Forestal Ciprés de las Guaitecas*

Importante formación natural que se distribuye en áreas costeras desde el sur de la región de Los Ríos hasta la región de Magallanes, mayoritariamente en esta última, y es dominada por ciprés de las Guaitecas.

Especies del tipo forestal Ciprés de las Guaitecas.

Ciprés de las Guaitecas ( <i>Pilgerodendron uviferum</i> )	Coihue de Magallanes ( <i>Nothofagus betuloides</i> )
Coihue de Chiloé ( <i>Nothofagus nitida</i> )	Canelo ( <i>Drymis winteri</i> )
Mañío de hojas largas ( <i>Podocarpus saligna</i> )	Ñirre ( <i>Nothofagus antarctica</i> )
Mañío macho ( <i>Podocarpus nubigenus</i> )	Tineo ( <i>Weinmania trichosperma</i> )

## Requerimientos de Manejo

La situación de los bosques nativos en la actualidad, sus niveles de degradación, el permanente ingreso de ganado que limita o impide su regeneración natural, la insustentable extracción de leña, su nula participación en la producción maderera y las presiones negativas impuestas por el cambio climático hacen sin duda necesario considerar su manejo con fines de conservación, protección y producción. Los primeros dos objetivos estarían en buena parte cumplidos por el SNASPE, las especies bajo protección especial y las restricciones de intervenciones en bosque considerados de protección. Sin embargo, más allá de la conservación y protección muy escasas medidas se han tomado para la recuperación de los bosques nativos del país, en circunstancias que todos los tipos forestales en mayor o menor medida las requieren.

INFOR ha desarrollado técnicas de manejo para diferentes Tipos Forestales que buscan la rehabilitación de los bosques, mejorar su regeneración y desarrollo, y ponerlos en valor con cierta producción maderera, no obstante, los costos involucrados y el temor de los propietarios, muy mayoritariamente del segmento PYMP, a efectuar inversiones con retornos en el mediano y largo plazo han impedido que estas técnicas puedan tener cierta masificación en su aplicación. Esto pese a los incentivos que el Estado ofrece a través de la Ley de Bosque Nativo de 2008, de muy escasa aplicación hasta ahora por razones antes comentadas.

Entre las alternativas para la rehabilitación de bosques degradados están las plantaciones suplementarias, técnica orientada a reponer mediante plantación las principales especies en un Tipo Forestal con fines de producción maderera a futuro. Se trata de una técnica de manejo que puede ser aplicable a cualquier Tipo Forestal, con variantes dependientes de su nivel de degradación, sus principales especies y su ubicación geográfica. INFOR desarrolló una valiosa experiencia al respecto, con el apoyo del Fondo de Investigación para el Bosque Nativo (FIBN de CONAF), en un bosque del Tipo Forestal Siempreverde muy degradado por intervenciones extractivas del pasado, en el predio Pumillahue, de propiedad de CONAF, en la región de Los Ríos, y a continuación se presenta una reseña de esta técnica con énfasis en su conceptualización y en los costos que involucra.

## **COSTOS REHABILITACIÓN DE BOSQUE SIEMPREVERDE DEGRADADO MEDIANTE PLANTACIONES SUPLEMENTARIAS**

La determinación de los costos de establecimiento de plantas para la rehabilitación de un bosque es de gran importancia para orientar una definición o adecuación de instrumentos de fomento e incentivos para esta actividad por parte del Estado, a través de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). Esta determinación de costos también puede ser de utilidad para quienes adquieran obligaciones de compensaciones ambientales.

Se presenta el caso de métodos de establecimiento de vegetación arbórea en bosques degradados del tipo Siempreverde localizados en el predio Pumillahue en la comuna de San José de la Mariquina en la región de Los Ríos. Los sectores a plantar corresponden a suelos invadidos por quilantales (*Chusquea quila*) con una cobertura de 100%. A diferencia de los procedimientos tradicionalmente empleados, se pone énfasis en algunas consideraciones genéticas de importancia para asegurar el establecimiento exitoso y garantizar la permanencia del material plantado en el largo plazo.

### **Descripción del Trabajo**

Con el fin de asegurar el éxito de estas plantaciones suplementarias es preciso caracterizar el bosque en donde se hará el trabajo en cuanto a su nivel de degradación, presencia de regeneración natural y especies que lo componen. En el caso del sector en estudio, la cobertura del quilantal, la ausencia de regeneración natural y la escasez o ausencia de árboles adultos indica una alta degradación. Se recurre entonces a la ubicación y caracterización de un ecosistema de referencia de este Tipo Forestal en la zona, información con la cual se definen las especies estructurales a incluir en la plantación suplementaria, seleccionando así a olivillo, lingue, roble, tepa y ulmo.

El paso siguiente es la obtención de las semillas y estas deben ser adecuadas para los fines de la plantación en cuestión y no emplear para esta, como frecuentemente ocurre, plantas eventualmente disponibles en diversos viveros sobre las cuales no existe mayor información sobre su origen.

El método propuesto en este caso se inicia con la selección de los árboles donantes de la semilla, las madres, que preferentemente deben corresponder a la misma zona de procedencia donde serán establecidas las plantas, de modo de asegurar la supervivencia de estas y evitar la contaminación de procedencias y poblaciones locales de las especies, la cual puede tener consecuencias no deseadas en el largo plazo, difícilmente predecibles dada la longevidad de las especies forestales nativas. Un buen apoyo para esto son las procedencias para especies nativas definidas por INFOR en 2014 (Quiroz & Gutiérrez, 2014).

Se establece así un Ruta Semillera en donde para las distintas especies se ubican árboles adultos, con distancias mínimas entre los ejemplares de igual especie para evitar consanguinidad (30 - 50 m), considerando al menos 10 ejemplares madre por especie. Existen diversos métodos de colección de semillas, como escalar los árboles y otros, pero en este caso fueron extendidas mallas Raschell de 20 m<sup>2</sup> soportadas por estacas a 1 m del suelo bajo los árboles madre.

La producción de semillas de las especies seleccionadas ocurre en un periodo de 3 a 4 meses (verano y otoño). De modo de resguardar la semilla de posibles depredadores la recolección de semillas desde las mallas fue cada 15 días y luego fue enviada a laboratorio para su limpieza, secado y resguardo para su posterior utilización en la producción de plantas. La semilla recolectada fue rotulada con especie, árbol madre y fecha de cosecha.

Se asegura de este modo procedencia adecuada para una buena supervivencia y desarrollo de la plantación, y diversidad genética intraespecífica que es un factor clave para la adaptación a las cambiantes condiciones ambientales que está generando el cambio climático. Además, se trata de especies madereras valiosas para una producción futura.

El estudio del predio Pumillahue, que tiene una superficie total de 686,9 ha, permitió determinar que 236,5 ha corresponden a plantaciones, 349,6 ha a bosque nativo, 83,8 ha a protección, 7,6 ha a caminos y 9,4 ha a otros usos. El bosque del Tipo Forestal Siempreverde que se encuentra en el predio es del Subtipo con Intolerantes Emergentes y las especies dominantes son roble, olivillo, tepa, laurel y ulmo.

Se considera que el 50% del bosque nativo presente en el predio se encuentra degradado (aproximadamente 170 ha) por intervenciones extractivas no sostenibles realizadas hace unos 50 años y por la posterior invasión del quilantal.

El trabajo de rehabilitación se enfrentó mediante plantaciones en fajas de 1 m de ancho practicadas en el quilantal (extracción total de la quila) y separadas a 3 m (control de altura de la quila a 10 a 15 cm), con densidades de plantación de 600; 900 y 1.600 árb/ha y se plantearon diversos escenarios para la determinación de costos suponiendo la rehabilitación del 20, 50 y 100% de la superficie de bosque degradado del predio (detalles de este trabajo en [Molina & Barros, 2021](#)). Las plantas fueron producidas en contenedor, en una temporada, en el vivero de INFOR en Concepción. En la plantación se emplearon protecciones individuales de tela Raschell con tres estacas como soporte.

La experiencia reunida en este predio indica muy buenos resultados de supervivencia de plantas (>90%) y un buen desarrollo inicial de estas (Ej. Ulmo con alturas cercana a 5 m en cuatro años). Sobre esta base, en el presente trabajo se intenta una estimación de costos por hectárea de plantación suplementaria para una mayor amplitud de situaciones de bosques degradados, considerando las posibilidades del segmento pequeños propietarios (<200 ha) y asumiendo una densidad de plantación de 600 pl/ha, densidad contemplada en la Tabla de Valores 2020 publicada por CONAF (2020) (DT N°239) en el marco de la Ley de Bosque Nativo (Ley N° 20.283 de 2008).

De acuerdo con esta Tabla de Valores, las posibilidades de bonificación para una intervención de estas características son de 10 UTM<sup>21</sup>/ha para la plantación y 0,38 UTM/ha para limpiezas posteriores, más algunos valores adicionales para cortafuegos y cercos que están definidos en UTM/km, razón por la que solo pueden ser definidos para cada predio a intervenir en particular.

En consecuencia, para el tema en cuestión podría obtenerse básicamente una bonificación total de \$ 529.152/ha según el valor de la UTM de enero 2021, momento en el que se efectuaron las estimaciones de costos del presente trabajo.

### **Determinación de Costos por Etapas**

- *Etapas 1: Caracterización del Predio donde se Desarrollará la Rehabilitación*

En esta etapa se caracteriza el predio, su superficie total, sus bosques, la degradación de estos, su estructura, la composición de especies, se busca en la zona un ecosistema de referencia que guíe en la definición de las especies a emplear y se decide con el propietario la superficie a rehabilitar mediante la plantación suplementaria. En el caso de Pumillahue, predio de 687 ha, esta etapa tuvo un costo de \$ 1.140.000, con la participación de un experto y un botánico y la elaboración de los respectivos informes.

---

<sup>21</sup> Enero 2021. 1 UTM: \$ 50.978

- *Etapa 2: Selección de árboles madre y cosecha de semillas*

La etapa contempla la selección de los árboles madre para la provisión de semillas con las consideraciones genéticas antes indicadas, la instalación de las estructuras para su recolección, los materiales para esto, y la mano de obra y supervisión técnica necesaria. En la rehabilitación efectuada en Pumillahue el valor de la etapa fue de \$ 1.782.600.

- *Etapa 3: Producción de plantas*

Las semillas fueron transportadas al vivero de INFOR en Concepción donde se efectuó la producción de las plantas. Los costos de esta etapa fueron los indicados en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Costo Producción de Plantas

Ítem	Unidades (N°)	Costo/Unidad (\$)	Total (\$/ha)
Almacigueras 84 cavidades 130 cc	9	3.213	28.917
Sustrato + traslado (1 m <sup>3</sup> = 72 almacigueras)	0,15	35.000	5.250
Siembra y repique (30 almacigueras/día) (J)	0,5	24.000	12.000
Fertilizantes (kg)	2,1	3.000	6.300
Control de malezas (J)	1,4	24.000	33.600
Supervisión (J)	0,5	24.000	12.000
Ganancia vivero comercial (40%)			39.227
<b>Total</b>			<b>137.294</b>
(J: Jornada) (Pérdida o descalificación en vivero de 20%)	<b>Costo/planta</b>	<b>229</b>	

En el cálculo de los costos para la producción de las especies seleccionadas se agregó un porcentaje de ganancia que es el que tendría un vivero particular, con el fin de asimilarlos al precio de mercado, y se estima un valor medio, aunque distintas especies puedan tener precios de comercialización diferentes para las plantas.

Dados los costos involucrados y la capacidad técnica necesaria, estas primeras tres etapas no podrían ser abordadas por pequeños y medianos propietarios, considerando además que buena parte de ellas muy probablemente tendrán que ser desarrolladas fuera de sus predios, en especial la cosecha de semillas y la producción de plantas. En consecuencia, para intentar una cierta masificación de la rehabilitación de bosques degradados, al menos inicialmente, resulta indispensable el apoyo del Estado con asistencia técnica, centros de semillas y viveros que produzcan las plantas adecuadas.

Sobre la base de la experiencia reunida en el predio Pumillahue, con el apoyo del FIBN u otras fuentes de financiamiento para resolver estas primeras etapas, INFOR podría desarrollar un plan piloto en bosques siempreverde con un grupo de propietarios, que por propia gestión aborden las etapas siguientes, partiendo desde la compra de plantas.

Esta es la situación que podría darse a futuro si estos trabajos pueden en alguna medida masificarse y se propicia el surgimiento de viveros que puedan ofrecer provisiones de plantas adecuadas. Para hacer esto posible, paralelamente debe ser reestudiado el tema de las bonificaciones de la Ley de Bosque Nativo y establecer un sistema de créditos de enlace de INDAP.

- *Etapa 4: Elaboración de fajas*

El sector a rehabilitar en el caso de Pumillahue corresponde a un quilantal denso y vigoroso donde no se observa regeneración natural y puede ser considerado como un terreno con un nivel de degradación máximo dado que la densidad de la especie invasora no permite la presencia de otra vegetación.

Para la plantación se abrieron fajas de 1 m de ancho, en las que la quila se eliminó totalmente, separadas entre ellas por 3 m, en donde la quila solo fue controlada en su altura, manteniéndola entre 10 a 15 cm. Se emplearon herramientas manuales y después se repasó la quila con desbrozadora en la faja de plantación. Los costos de esta faena fueron los indicados en el Cuadro 5.

**Cuadro 5-** Costos Elaboración de Fajas

Ítem	Costo/Unidad (\$)	Total (\$/ha)
Mano de obra (24 jornadas)	24.000	672.000
Herramientas menores, combustible	5.000	5.000
<b>Total</b>		<b>677.500</b>

- *Etapa 5: Plantación*

Experiencias llevadas a cabo por INFOR indican que la plantación con especies nativas con protección inicial tiene una mayor supervivencia y desarrollo de las plantas. Para la protección individual de las plantas se utilizó malla Rachell (50%) y 3 tutores para su sujeción. La protección utilizada se espera cumpla varias funciones, como reducción de la insolación, protección contra animales menores, especialmente pudú, y eventualmente contra heladas, además de la disminución de malezas en torno al cuello de las plantas. Lo costos de esta faena son los indicados en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Costos Plantación

Ítem	Unidades (N°)	Costo/Unidad (\$)	Total (\$/ha)
Transporte de plantas	1	50.000	50.000
Mano de obra (transporte, casillas, plantación, fertilización y protección) 100 plantas/día (J)	6	24.000	144.000
Fertilizantes lenta entrega 50 g/planta (saco 20 kg)	1,5	52.000	78.000
Protección planta. Malla	600	251	150.600
Protección planta. 3 tutores	1.800	132	237.600
<b>Total</b>			<b>660.200</b>

(J: Jornada)

- *Etapa 6: Mantenimiento de fajas y replante*

Los costos estimados en este caso se refieren al control del desarrollo de la quila y si fuese necesario de la vegetación competidora que pueda prosperar en torno al cuello de las plantas, labor que se estima debe ser anual hasta el año 5. Se contempla, en el año 2, la reposición de plantas muertas y se estima que este replante puede alcanzar a un 10% de las plantas iniciales. Los costos estimados para esta etapa son los indicados en el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Costos Mantenición Año 2.

Ítem	Año 2	Unidades (N°)	Costo/Unidad (\$)	Total (\$/ha)
Mano de obra control altura de quila (J)		12	24.000	288.000
Herramientas menores, combustible			5.000	5.000
Replante, fertilizante y protección			108.360	108.360
<b>Total</b>				<b>401.360</b>
Ítem	Años 3 a 5			
Mano de obra control altura de quila (J)		6	24.000	144.000
Herramientas menores, combustible			5.000	5.000
<b>Total</b>				<b>149.000</b>

### Resumen de Costos Rehabilitación en Pumillahue

Los costos involucrados en los trabajos de rehabilitación de bosque Siempreverde degradado mediante plantación suplementaria de 600 árb/ha en el predio Pumillahue se encuentran resumidos en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Resumen Costos Rehabilitación en Pumillahue.

Etapa	Costo (\$)
1.- Caracterización del predio donde se desarrollará la rehabilitación	1.140.000
2.- Selección de árboles madre y cosecha de semillas	1.782.600
<b>Total</b>	<b>2.922.600</b>
Etapa	Costo (\$/ha)
3.- Producción de plantas	137.294
4.- Elaboración de Fajas	677.500
5.- Plantación	660.200
6.- Mantenión de fajas y replante Año 2	401.360
7.- Mantenión de fajas Años 3 a 5	447.000
<b>Total</b>	<b>2.323.354</b>

### Estimación de Costos de Rehabilitación para Segmento PYMP

El segmento PYMP podría abordar trabajos similares, enfrentando situaciones muy variables según tipo forestal y nivel de degradación, especies a emplear, ubicación geográfica y costos involucrados en cada etapa de las intervenciones de rehabilitación mediante plantaciones suplementarias. Esto hace necesario revisar etapa a etapa la experiencia de Pumillahue y ver cómo enfrentar cada una de ellas ante las variadas situaciones que puede encontrar este segmento de propietarios en iniciativas de rehabilitación de bosques degradados.

Todas las etapas condicionan el éxito de estas intervenciones, pero las etapas iniciales son clave para la supervivencia y desarrollo de las plantaciones y para la capacidad de adaptación de estas nuevas poblaciones a las cambiantes condiciones ambientales generadas por el cambio climático.

Si no se utiliza material genético adecuado y plantas de buena calidad, estas plantaciones están destinadas al fracaso. La apropiada selección de procedencias y la recolección de semillas, asegurando que contengan una buena variabilidad genética, y el uso de buenas técnicas de producción de plantas son factores determinantes para el éxito de estos trabajos.

- *Etapa 1: Caracterización del predio*

Considerando que normalmente se tratará de superficies reducidas, esta etapa puede ser abordada por el segmento PYMP, pero requerirá de la asistencia técnica adecuada que será considerada en la estimación de costos, la cual apoyará esta etapa y las posteriores, incluida la presentación del correspondiente Plan de Manejo a los concursos de la Ley de Bosque Nativo.

- *Etapas 2 y 3: Selección de árboles madre, cosecha de semillas y producción de plantas*

Los costos y complejidades técnicas de estas etapas son limitantes que muy difícilmente podrían enfrentar los pequeños y medianos propietarios, en especial los primeros. Este segmento de propietarios normalmente no tiene los conocimientos o experiencia para la colecta de semillas y su manejo, y menos aún para la producción de plantas de diferentes especies.

Al menos inicialmente, el Estado, a través de programas de sus instituciones del Agro, tendría que apoyar con la provisión de plantas apropiadas. En consecuencia, esta estimación de costos se iniciará con la compra de plantas, provistas por el Estado o por terceros, por un valor unitario como el definido en el caso de Pumillahue.

- *Etapa 4: Elaboración de fajas para la plantación*

Como se mencionó anteriormente, en esta etapa se podrá enfrentar situaciones muy variadas en cuanto a la intensidad de trabajo y el costo de preparación de las fajas para la plantación.

El caso de Pumillahue involucró un alto costo dada la completa invasión de los quilantales, pero para ampliar la estimación de costos a diferentes situaciones se considerarán tres alternativas, dadas por una situación de Limpia Intensa, Limpia Moderada y Limpia Menor, con costos equivalentes al 100%, el 50% y el 25%, respectivamente de los determinados en Pumillahue.

- *Etapa 5: Plantación*

Se trata de una etapa compleja que abarca la confección de casillas de plantación, la plantación, la aplicación de dosis de fertilizante y la preparación e instalación de las protecciones individuales. El costo de la etapa será el mismo determinado en Pumillahue.

- *Etapa 6: Mantenimiento de fajas y replante Año 2*

Para la mantención de fajas se consideran alternativas acordes con los supuestos de costos de la etapa 4; Limpia intensa, Limpia Moderada y Limpia Menor, con iguales porcentajes respecto de los costos definidos en Pumillahue. En cuanto al replante se considera igual costo que en Pumillahue.

- *Etapa 7: Mantenimiento de fajas Años 3 a 5*

Para estas etapas se mantienen los supuestos de costos de la etapa anterior, en cuanto a la mantención de las fajas, pero para Limpia Intensa la mantención se repite los años 3 a 5, para Limpia Moderada en el año 3 años y para Limpia Menor bastaría con el trabajo ya realizado en la etapa anterior.

Revisadas las etapas es posible efectuar la estimación de costos indicada en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Estimación de Costos de Rehabilitación para el Segmento PYMP

Ítem	Limpia Intensa	Limpia Moderada	Limpia Menor
	(\$/ha)		
Compra de Plantas	137.294	137.294	137.294
Elaboración de fajas	677.500	338.750	169.375
Plantación	660.200	660.200	660.200
Mantención de fajas y replante año 2	401.360	254.860	181.610
Mantención de Fajas año 3	149.000	74.500	
Mantención de Fajas año 4	149.000		
Mantención de Fajas año 5	149.000		
Asistencia Técnica	232.335	146.560	114.848
<b>Total</b>	<b>2.555.689</b>	<b>1.612.164</b>	<b>1.263.327</b>

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado del fin de los incentivos estatales a la forestación en 2012 y de los recurrentes incendios forestales que afectan al país, se ha reducido la disponibilidad de madera y el sector forestal ve detenido su crecimiento y desarrollo. Un nivel de corta de madera para fines industriales como el del año 2018 no volverá a alcanzarse en los próximos 20 años, con su consecuente efecto negativo en la producción, en las exportaciones y en la pyme maderera. Hasta el año 2010 se forestaban anualmente en promedio más de 50 Mha, ya en 2015 esta cifra había caído a 3 Mha y en 2021 a solo 600 ha.

Las plantaciones forestales proveen el 99,7% de la madera para la industria y el bosque nativo en tanto prácticamente no participa en la producción, en 2021 solo el 0,3% del volumen generado proviene de este recurso.

Parece de evidente conveniencia reponer los incentivos estatales a la forestación de pequeños y medianos propietarios y hacerlos extensivos a la recuperación de plantaciones quemadas, ya que este segmento de propietarios queda descapitalizado y no puede enfrentar los costos de una nueva plantación. Más aún si se tiene presente que en el país hay extensas superficies de suelos forestales desarbolados y bajo fuertes procesos erosivos, que potencialmente están disponibles para ser forestados, protegiéndolos y habilitándolos así para la producción, para fijar importantes cantidades de carbono y para generar desarrollo rural.

Respecto de los bosques nativos, se trata de un recurso abundante que está principalmente en manos del segmento PYMP, el cual, aunque mayoritariamente fragmentado y con distintos niveles de degradación debido a las malas prácticas del pasado, debe ser puesto bajo manejo forestal sostenible, con fines productivos cuando sus niveles de degradación son menores, o con fines de rehabilitación y recuperación cuando la degradación es más severa. Este recurso puede proporcionar importantes volúmenes de madera de muy buena calidad para variados usos, como la construcción, la mueblería y otros.

Múltiples situaciones se podrán enfrentar para el manejo de los bosques nativos según Tipo Forestal, ubicación geográfica, nivel de degradación, especies principales, topografía y otros factores. Habrá casos en que las especies principales ya no están presentes, o los suelos hayan sido invadidos por vegetación invasora como quila u otras, y será necesaria su rehabilitación. Habrá otros casos en que la degradación no es tan severa, existan árboles adultos o renovales, hay regeneración natural, y con técnicas silvícolas apropiadas los bosques pueden ser manejados para su mejoramiento y puesta en producción.

Una forma de enfrentar la rehabilitación de bosques degradado es el establecimiento de plantaciones suplementarias que repongan en presencia y abundancia las especies principales de estos y mejoren su estructura y valor a futuro, sin embargo, estas intervenciones son de costos elevados y un factor muy gravitante en estos costos son los trabajos necesarios para abrir espacio para el establecimiento de las

plantas. Además, factor clave para el éxito de esta técnica es el empleo de materia genético adecuado, esto es procedencias idóneas para el lugar a plantar, así como semillas que aseguren variabilidad genética intraespecífica, variabilidad que asegura la capacidad de adaptación de la nueva población a las cambiantes condiciones ambientales que está imponiendo el cambio climático.

Usando como base una experiencia reciente y exitosa de INFOR empleando plantaciones suplementarias en un bosque siempreverde con extremo nivel de degradación, cuyos costos fueron definidos, se efectuó ahora una estimación de costos de rehabilitación para el segmento PYMP para situaciones alternativas en lo referente principalmente al trabajo necesario para abrir fajas para la plantación, alternativas que representarían situaciones de bosque con niveles menores de degradación.

La selección de zonas de procedencias, la cosecha y manejo de semilla adecuada y la producción de plantas de buena calidad son aspectos que, por su costo y complejidad técnica, muy difícilmente podrían enfrentar los pequeños y medianos propietarios. Por tal razón, para enfrentar un programa relevante de rehabilitación de bosques degradados en el país, la provisión de semillas y plantas adecuadas tendría que ser propiciada, al menos inicialmente, por el Estado a través de programas de sus instituciones del Agro, que puedan ofrecer las plantas requeridas por las iniciativas de rehabilitación de bosques degradados del segmento PYMP.

Los costos de las alternativas planteadas (Cuadro 9) resultaron en \$2.555.689/ha, \$1.612.164/ha y \$1.263.327/ha. De acuerdo con la Tabla de Valores publicada por CONAF (2020), la posible bonificación a que podrían aspirar los propietarios para el caso de las plantaciones suplementarias es actualmente de \$ 634.810/ha, más algo adicional por concepto de cercos y de elaboración y mantención de cortafuegos, valores que habría que definir caso a caso conociéndose la superficie a rehabilitar. En consecuencia, la Ley de Bosque Nativo en su estado actual podría cubrir mediante sus bonificaciones aproximadamente el 21%, el 33% y 42%, respectivamente, de los costos totales estimados para las rehabilitaciones.

Lo anterior resalta una vez más que la Ley N° 20.283, sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal del año 2008, que tan escasa aplicación ha tenido en 14 años, debe ser reestudiada y ajustada a la realidad. Las bonificaciones en este caso deben ser del 100% de los costos, ya que los propietarios estarían invirtiendo a largo plazo, obteniendo en el corto plazo solo una cierta revalorización de sus predios y sus bosques, y en el caso que desarrollen la rehabilitación por gestión directa, el pago por las jornadas trabajadas. Se espera que la estimación de costos realizada (Cuadro 9) resulte un aporte para estos efectos. Complementariamente sería necesario restablecer el sistema de créditos de enlace que operaba INDAP para apoyar los trabajos de los propietarios hasta obtener la bonificación de esta ley.

## REFERENCIAS

- Álvarez, V., Poblete, P., Soto, D., Gysling, J., Kahler, C. et al. (2022).** Anuario Forestal 2022. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 187. 273 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32501>
- Álvarez, V. & Bañados, J.C. (2022).** Exportaciones Forestales Enero - Agosto 2022. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico, septiembre 2022. 48 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32052>
- Beltrán, K. (2013).** Superficie Potencial Forestable de las Regiones de O'Higgins a Aysén. Corporación Nacional Forestal. Gerencia Forestal. 275 p.
- Büchner, C., Martín, M., Sagardía, R., Avila, Alberto; Molina, Eduardo et al. (2018).** Disponibilidad de Madera de Plantaciones de Pino Radiata y Eucalipto (2017-2047). Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/28294>
- CONAF. (2020).** Tabla de Valores 2020. Ley N°20.283 sobre recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal En: <https://www.conaf.cl/cms/editorweb/chifo/DT239.pdf>
- INFOR. (1992).** Estadísticas forestales 1991. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 26. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/6105>

**INFOR. (2002).** Estadísticas Forestales 2001. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 84. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/6374>

**Molina, M.P. & Barros, S. (2021).** Determinación de Costos de Plantación y Mantenimiento Inicial en la Rehabilitación de un Bosque Siempreverde Degradado. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B., Molina, M. & Barros, S. (Eds). Buenas Prácticas y Consideraciones Genéticas para Recuperación de Bosques Nativos Degradados. Instituto Forestal, Chile. Capítulo 11. Pp: 267-288.

**Quiroz, I. & Gutiérrez, B. (2014).** Propuesta de reglamento para semillas y plantas forestales. Resultado del proyecto INNOVA Chile-CORFO 11BPC-9967 Desarrollo de una propuesta de reglamento para semillas y plantas forestales. Instituto Forestal. Concepción, Chile. 74 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/20594>

**SAG –ODEPA. (1968).** Potencialidad de los Suelos en Chile. Unidades de Uso Agrícola de los Suelos en Chile entre las Provincias de Aconcagua y Chiloé. Plan de Desarrollo Agropecuario 1965 –1990. Servicio Agrícola y Ganadero y Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Chile.

**Sagardía, R., Bahamondez, C., Ávila, A., Reyes, R. & Vergara, G. (2021).** Los Recursos Forestales en Chile 2021. Inventario Forestal Nacional de Bosques Nativos y Actualización de Plantaciones Forestales. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 248. 196 p.

**Soto Aguirre, D., Gysling Caselli, J., Kahler González, C., Poblete Hernández, P. Álvarez Conzalez, V. et al. (2021).** Anuario forestal 2021. INFOR. Boletín Estadístico N° 180. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31292>



# CIENCIA & INVESTIGACIÓN FORESTAL

