



ARTÍCULO

Regeneración natural o plantación, análisis de experiencia tras 20 años de crecimiento de roble (*Nothofagus obliqua*) en Panguipulli, Chile.

Sabine Müller-Using Wenzke¹; Yasna Rojas Ponce²; Burkhard Müller-Using³ & Marjorie Martin Stuvén⁴

¹ Ing. Forestal, Dr. Forest. Instituto Forestal, Sede Los Ríos. Valdivia. Chile. smuller@infor.cl

² Ing. Forestal, Dr. de Montes. Instituto Forestal, Sede Los Ríos. Valdivia. Chile. yrojas@infor.cl

³ Ing. Forestal, Dr. Forest. Renovales Müller-Using. Panguipulli. Chile. burkhardmusing@yahoo.de

⁴ Ing. Forestal, Instituto Forestal, Sede Los Ríos. Valdivia. Chile. mmartin@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.580>

Recibido: 20.12.2022; Aceptado 30.01.2023

RESUMEN

En el contexto de los compromisos de Chile frente a la estrategia de Cambio Climático y de las metas de reforestación que se ha propuesto Chile, se generarán nuevos bosques con especies nativas a través de plantaciones. El objeto de este estudio de caso es la descripción de similitudes y diferencias de tales plantaciones respecto a bosques naturales de segundo crecimiento. Se compara un bosque plantado y un bosque natural de roble (*Nothofagus obliqua*) en términos de crecimiento, calidad y biodiversidad. Ambos rodales se encuentran en la misma ladera con exposición sur en las cercanías de Panguipulli, Chile y han sido raleado dos veces. En ambos rodales se tomaron parámetros dasométricos de los rodales, en el caso del bosque natural se extrajeron tarugos de crecimiento para evaluar la edad y su reacción a los raleos. Como resultado se obtuvo un mayor crecimiento en el bosque plantado, pero mejor calidad y mayor biodiversidad en el bosque natural. Los rodales están aún muy jóvenes para un análisis económico concluyente. Sin embargo, se pudo comprobar que, sin una diferenciación de productos, los valores de la plantación de 21 años y del bosque secundario de 30 años son similares. Aún no está determinado como se desarrollará el valor en el momento de la diferenciación de productos.

Palabras clave: *Nothofagus obliqua*, plantación, bosque secundario, calidad de madera, crecimiento.

SUMMARY

In the context of the reforestation goals proposed by Chile, as a part of CC Strategy, new forests are being generated with native species through plantations. The description of similarities and differences that these plantations may have with natural second-growth forests is the subject of this case study. Here we compare a planted forest and a natural roble (*Nothofagus obliqua*) forest in terms of growth, quality and biodiversity. Both stands are located on the same slope with southern exposure near Panguipulli, Chile and have been thinned twice. In both stands, dasometric parameters were taken from the stands and in the natural forest growth plugs were extracted to evaluate the age and their reaction to thinning. As a result, higher growth was obtained in the planted forest and better qualities and greater biodiversity in the natural forest. The stands are still too young for a conclusive economic analysis. However, it was found that without product differentiation, the values of the 21-year-old plantation and the 30-year-old secondary forest are similar. How the value will develop at the time of product differentiation is still open.

Key words: *Beilschmiedia miersii*, root length, root protection zone, root architecture

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Chile se están realizando grandes esfuerzos tendientes a aumentar la superficie de bosque de especies nativas, para cumplir con los compromisos internacionales adquiridos por el país en el contexto del cambio climático, formalizados a través del acuerdo de París (Gobierno de Chile, 2020). La Ley N° 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal solo aplica a bosques provenientes de regeneración natural o plantados debajo de un dosel de las mismas especies (CONAF, 2012). Esto determina que los incentivos de manejo solo estén disponibles para bosque nativo y repercuta en la consideración dentro de la contabilidad de captura de carbono. Por otra parte, se está ejecutando un programa de restauración en el marco del plan de reactivación económica (Cámara de Diputadas y Diputados 2022), el cual considera también plantaciones de especies nativas. Ante esta inversión con fines económicos se hace relevante conocer también el crecimiento de valor generado por una plantación, en comparación con un bosque que nace espontáneamente, sin mayor inversión que probablemente un cerco que evite el ramoneo de ganado.

En el caso de los bosques naturales, existen 823.899 ha de renovales del tipo Roble-Raulí-Coigüe potencialmente manejables entre las regiones del Ñuble y Los Lagos (Martin *et al.*, 2020). De estos, alrededor del 52% corresponden a bosques solo de roble y/o raulí (Müller-Using *et al.*, 2012). Existen muchos antecedentes sobre su estructura y crecimiento, principalmente para las primeras décadas (Donoso *et al.* 1993; Grosse, 2009). Estos demuestran su gran potencial de producción de madera y su aporte a la captura de carbono (Schlegel & Rojas, 2020) y coinciden en la descripción de su simple estructura con densidades naturalmente altas en las primeras décadas (Müller-Using *et al.* 2012; Rojas 2007).

En cuanto al manejo de los bosques naturales, desde la década de los '70 del siglo XX se está realizando investigación relacionada con técnicas de cortas intermedias en bosques secundarios del tipo Roble-Raulí-Coigüe (Fierro, 1998, Lara *et al.*, 2000). Variados estudios relacionados con la respuesta de los renovales a intervenciones como el raleo, abordan el potencial de crecimiento del bosque (Donoso, 1988; Espinosa *et al.*, 1988; Donoso *et al.*, 1993; Lara *et al.*, 1996; Grosse & Quiroz, 1999; Martínez, 1999), coincidiendo en que las principales intervenciones silvícolas deben realizarse a temprana edad (10-30 años), cuando la reacción al raleo es notable y se logran incrementos anuales de más de un centímetro en diámetro. Basado en estas observaciones las proyecciones de rendimiento de estos estudios son muy favorables. Sin embargo, existen pocas experiencias de un manejo constante en el tiempo que verifiquen estas altas perspectivas.

Las plantaciones de roble se realizan generalmente con densidades considerablemente menores que las de los renovales, entre 500 a 1666 pl/ha (Donoso y Soto 2010, Reyes *et al.*, 2007), lo que permite un crecimiento libre de competencia intra-específica en los primeros años y deja espacio para una eventual complementación con otras especies que regeneren de forma natural.

Para plantaciones de roble, raulí y coigüe, Donoso & Soto (2010) han evaluado experiencias implementadas durante 30 años, principalmente de coihue y raulí. En estas plantaciones, y tal como ocurre también en los renovales, se pueden encontrar muy pocas experiencias sometidas a una oportuna y adecuada silvicultura intermedia, que demuestre el verdadero potencial de crecimiento y calidad de los productos maderables a extraer. Aun así, el crecimiento registrado a nivel de árbol parece muy prometedor y significativamente superior al crecimiento observado en bosques naturales.

Existen variados estudios respecto al crecimiento de estas especies en plantaciones y en bosques naturales (Donoso *et al.* 1993; Grosse, 2009). Estos concluyen que las plantaciones tienen mejores crecimientos promedios que los renovales, duplicándolos en algunos casos, tanto antes como después de los raleos.

Sin embargo, el crecimiento es solo uno de los aspectos relevantes para determinar el valor económico de un rodal; otro aspecto primordial es su calidad maderera. Existen antecedentes sobre la calidad maderera en bosques secundarios de roble, los que indican que en el área de distribución del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, solo un 25% de los fustes alcanza grados de calidad A y B, aptos para un uso

debobinable y aserrable, respectivamente (Martin & Müller-Using, 2012). Esto se atribuye a la falta de manejo, puesto que el potencial de generar maderas de usos nobles de las especies que lo integran se considera alto (Hernandez & Pinilla, 2010). Menos experiencia existe respecto de las plantaciones nativas. En este sentido, uno de los estudios publicados es el de Müller-Using *et al.* (2020) que analiza la calidad de fuste en la misma plantación de roble aquí estudiada, así como su desarrollo durante los primeros dos raleos del rodal. Si bien en esta experiencia la calidad maderera inicialmente parecía solo regular, se ha logrado una mejora significativa a través del manejo.

En términos de valor ambiental, un criterio importante es la biodiversidad que alberga un bosque. Si bien esta abarca los distintos reinos de flora y fauna, la composición de especies arbóreas es un aspecto clave a considerar. En general, en estas formaciones no existe gran abundancia ni riqueza de especies, lo cual según Rojas (2007) no debe ser interpretado como una deficiencia, sino que necesariamente debe ser analizado respecto a la composición de especies característica de este tipo de bosques y la etapa sucesional en que se encuentra.

Rycowski (2002) señala que una baja diversidad biológica puede ser signo de vigorosos procesos de crecimiento tales como ecosistemas jóvenes o fases iniciales de sucesión, y esto debe ser visto como un fenómeno positivo. Sin embargo, el manejo puede influir en la diversidad de especies, presentándose mecanismos que tiendan a mantener estos bosques como rodales puros o bien permitir la mayor participación de especies tolerantes, que aumentarían la riqueza y abundancia de especies del recurso.

En el presente estudio se compara en términos de crecimiento, calidad maderera y biodiversidad un rodal natural y una plantación de roble que se encuentran en una misma ladera. Al respecto se postula que: (i) el crecimiento en diámetro y volumen de una plantación de roble es mayor que en un bosque natural secundario de la misma especie, porque el distanciamiento controlado permite un mayor aprovechamiento del sitio; y (ii) no existe relación entre las variables de calidad de fuste y el origen de los árboles, sea este de plantación o de bosque secundario.

Se espera con esta comparación hacer un aporte a la evaluación de las características comunes y diferencias de un bosque plantado y otro de origen natural, en relación a los servicios económicos y ambientales que brindan.

MATERIAL Y MÉTODO

Ubicación del Estudio

El área de estudio se ubica en la comuna de Panguipulli, Región de Los Ríos, Chile (**Figura 1**), específicamente en el predio Millahue, en las coordenadas 39°40'58.40"S 72°22'14.11"O, 320 msnm (bosque natural) y 39°40'44.59"S 72°23'5.56"O, 390 msnm (plantación).

El clima es marino húmedo patagónico y corresponde al agroclima Vilcún. La temperatura media anual registrada es de 9,7 °C, con una máxima media en enero (mes más cálido) de 23,6°C y una mínima media de 1,2°C en junio (mes más frío). La precipitación anual alcanza 2.555 mm con 282 en el mes más lluvioso (mayo) (INIA, 1989) Los suelos corresponden a la serie Malihue de la familia medial, méstica de los Acrudoxic Fulvudads (andisol) (CIREN, 2001).

Rodales Estudiados

El bosque natural se originó de forma espontánea, tras el abandono de una pradera a partir del año 1990, en un proceso de recolonización que demoró aprox. 8 años, como muestran las edades de los árboles obtenidos a través de tarugos de crecimiento (**Cuadro 1**). Tuvo su primera intervención silvícola en forma de un raleo en el año 2009. En esta instancia se tomó como referencia para la intensidad del raleo el diagrama de manejo densidad para roble-raulí-coigüe según Müller-Using *et al.* (2012) y se bajó la densidad del rodal al 35% de densidad relativa. En el segundo raleo, en el año 2015, se volvió a disminuir la cantidad de individuos hasta alcanzar nuevamente el 33% de densidad relativa.

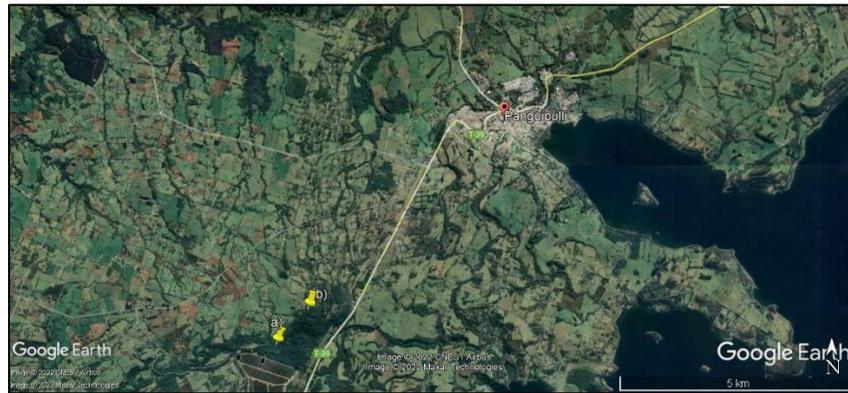


Figura 1. Ubicación de los rodales estudiados: a) bosque natural y b) plantación.

Cuadro 1. Antecedentes de los rodales de estudio al año 2022.

Parámetros	Bosque secundario	Plantación
Edad	32 (28-36) años	21 años
Raleos	2 (2009 y 2016)	2 (2013 y 2018)
Especies acompañantes	5% (radal, laurel, tepa, arrayán)	0% (Sin acompañantes)

La Figura 2 muestra la variación de la edad de los árboles dominantes y codominantes al año 2022. La edad promedio es de 32 años, valor que para efectos de este estudio se usará como referencia para la edad.

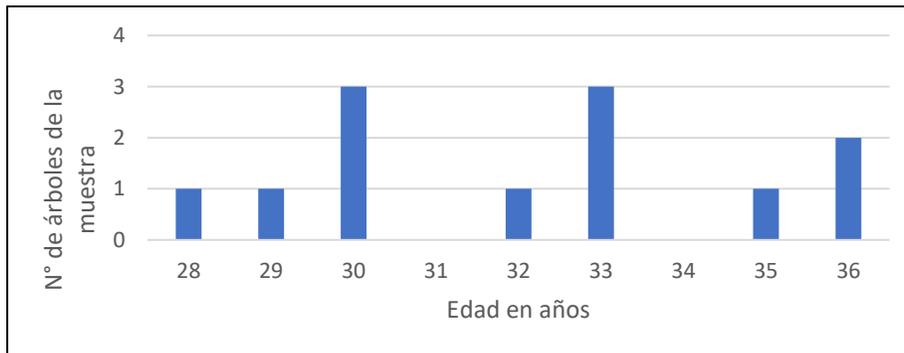


Figura 2. Frecuencia de edades de los árboles muestreados en el bosque secundario.

La plantación de roble fue implementada en el año 2001, sobre una pradera rodeada de bosques de roble. El distanciamiento de la plantación fue 2x3 metros y las plantas eran de procedencia local. El primer raleo se realizó en el año 2013 y el segundo en 2018. La extracción se realizó según bajo criterios de calidad y vitalidad, eliminando especialmente los individuos de fustes curvos y manteniendo alrededor del 27-32% de la densidad relativa según el diagrama de manejo de densidad desarrollado por INFOR (Müller-Using *et al.* 2012)

Los datos resumidos de rodal al año 2022 para el bosque secundario y la plantación se muestran en el Cuadro 1.

Los suelos de ambos rodales fueron caracterizados en 4 mini-calicatas de 50 cm de profundidad en cada rodal (**Cuadro 2**). Los valores de carbono total en la profundidad de 30 cm son de 200,5 t/ha para plantaciones y de 163,7 t/ha, los que son superiores a los valores promedio de carbono del suelo obtenidos por Rojas *et al.* (2020) con un valor promedio regional de 142,73 t/ha.

Cuadro 2. Parámetros de suelo de los rodales estudiados

Parámetros	Profundidad (cm)	Bosque Secundario	Plantación
Densidad (g/cm ³)	0-15	0,53	0,52
	15-30	0,53	0,45
Textura (muestreo en terreno)	0-15	Arcilla Franca	Arena Franca
	15-30	Arcilla Franca	Arena Franca
Contenido C (%)	0-15	13,0	16,4
	15-30	7,7	10,8

Levantamiento y Análisis de Datos

El levantamiento de los datos dasométricos y la composición arbórea de rodal se realizó a través de dos parcelas cuadradas por rodal. En el bosque natural el tamaño de las parcelas fue de 625 m² cada una. En la plantación de 500 m² cada una. La diferencia del tamaño de las parcelas se debe a que habían sido implementadas previo a este estudio, en el marco de otras investigaciones. En el caso del bosque secundario se cuenta con mediciones anuales desde el año 2009 (Rojas, 2011). En el caso de la plantación se han publicados datos de mediciones en 2013 y 2018 (Müller-Using *et al.*, 2020), los cuales se complementaron para el presente estudio con una medición al año 2022. En todas las parcelas, de ambos rodales, se midió el diámetro a la altura de 1,3 m (DAP). Adicionalmente, en el bosque secundario se midió con Vertex las alturas totales de todos los árboles. En la plantación se midió la altura de 10 árboles distribuidos en el rango diamétrico del rodal y se generó una función para estimar las alturas restantes.

Para definir la edad y el crecimiento de los árboles dominantes y codominantes, en el bosque secundario se extrajeron tarugos de crecimiento. Se tomó una muestra a 10 árboles de roble por rodal. De cada árbol se extrajeron dos tarugos a la altura del DAP, en direcciones norte-sur y este-oeste. Los tarugos fueron montados, pulidos y medidos usando técnicas estándar, con el fin de determinar el incremento anual y la edad. Se asignó el año a cada ancho del anillo y se determinó la edad de cada individuo muestreado, considerando el año 2018 como último anillo completo.

En el análisis de los datos se han usado las siguientes fórmulas:

Para estimar el volumen de los árboles se usó la función de Barría (1996) desarrollada para un rodal roble-raulí de 16 años de edad (1).

$$\text{LN}(V) = -9,915425 + 0,939798 \times \text{LN}(H \times \text{DAP}^2) \quad (1)$$

Donde;

V = Volumen bruto total (m³)

H = Altura total (m)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

La función ajustada para la estimación de las alturas en la plantación fue la detallada en la expresión (2)

$$H = 8,2101 \times \text{DAP}^{0,2991} \quad (2)$$

Donde:

H = Altura total (m)

DAP = Diámetro la altura del pecho (cm)

La Calidad de los fustes en ambos rodales fue evaluada en el año 2022 con ayuda de la matriz de Müller-Using *et al.* (2020), que se muestra en el **Cuadro 3**. Además, se registró para cada árbol si el largo de fuste permitía la obtención de un mínimo de dos trozas o no.

Cuadro 3. Matriz de evaluación de la calidad de fustes

criterio	Puntuación
Daños	1 Ningún daño
	2 Algún daño menor
	3 Daño severo
Rectitud de fuste	1 Fuste recto
	2 Fuste curvado hacia un lado
	3 Fuste curvado hacia varios lados
Forma del fuste (excentricidad)	1 Circular
	2 Levemente elíptico
	3 Fuertemente elíptico
Bifurcaciones	1 No hay bifurcación (hasta 7.40 m de altura del fuste)
	2 Bifurcación más arriba de 3.80 m de altura del fuste
	3 Bifurcación más abajo de 3.80 m de altura del fuste
Diámetro de Ramas	1 Diámetro < 2cm
	2 Diámetro > 2cm; < 4cm
	3 Diámetro > 4 cm
Ángulo de Ramas*	1 Ángulo < 20°
	2 Ángulo > 20° ; < 45°
	3 Ángulo >45

* Medido de la línea vertical del fuste en dirección a la punta del árbol

Evaluación Económica

Se evaluó económicamente las diferencias entre la plantación y el bosque nativo hasta el año 2022, analizando (i) el impacto de los costos de establecimiento presentes solo en la plantación y (ii) la mayor edad que tiene el bosque nativo al momento de la evaluación. Debido a que no se ha alcanzado el máximo desarrollo de ninguno de los rodales evaluados, se asume que el único producto a obtener es leña. La tasa de descuento utilizada fue de 6%. La información y supuestos empleados se indican en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Información y supuestos utilizados en la evaluación económica.

Producto	Precios puesto ciudad* (US\$/m3)	Costos Cosecha** (US\$/m3)	Costos raleos*** (US\$/ha)	Costo establecimiento (US\$/ha)	Edad cosecha (años)
Plantación	77	17	Raleo 1: 28 Raleo 2: 32	1.642	21
Bosque Nativo	77	17	Raleo 1: 28 Raleo 2: 32		36

* Distancia media de 100 km desde predio. ** Los costos corresponden a costos de volteo, madereo, fajas y caminos y transporte (información de encuestas de propietarios de la región). *** Los costos de raleo incluyen marcación y gastos de administración. Valor dólar: \$ 890.

Evaluación de la Calidad de los Árboles

Debido a la naturaleza de los datos, para el análisis de calidad maderera se trabajó con análisis estadístico mediante tablas de contingencia, utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS

La **Figura 3** muestra el desarrollo de ambos rodales desde el año de la primera medición. Se observa la diferente densidad inicial y el manejo que ha llevado a que ambos rodales se asemejen en la densidad y el área basal.

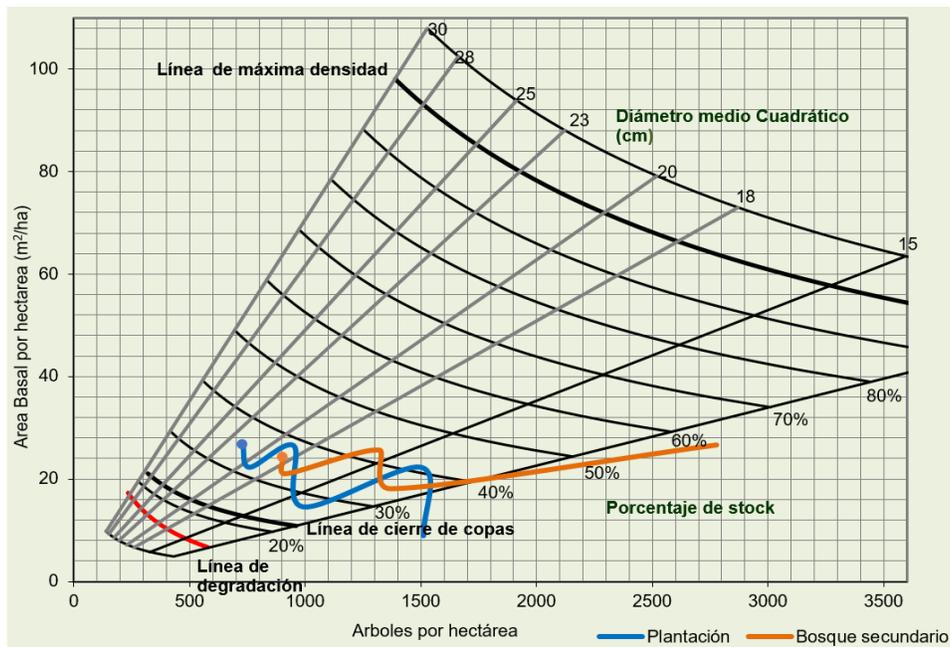


Figura 3. Diagrama densidad de Gingrich con el desarrollo de ambos rodales

Ambos rodales han sido raleados dos veces, sin embargo, no a la misma edad. Es por ello que en el **Cuadro 5** se presentan los parámetros dasométricos de la plantación en comparación con (i) el bosque secundario a la misma edad de la plantación (2011) y (ii) el bosque secundario a los mismos 4 años después del segundo raleo (2020).

Cuadro 5. Parámetros dasométricos de los rodales estudiados a la edad de 21 años y 4 años después del segundo raleo.

Parámetros	Bosque secundario (2011)	Bosque secundario (2020)	Plantación (2022)
Edad (años)	21 (17-25)	30 (26-34)	21
Años después del 2° raleo	-	4	4
N° de árboles ha ⁻¹	1360	904	730
DAP	12,9	16,9	21,3
Área Basal	19,7	23,2	26,8
Altura	16,0	19,9	20,4
Volumen	129,7	184,5	197,7

Como se observa en Cuadro 5 la densidad en ambos rodales es distinta. En caso de una alta diferenciación de los diámetros, la media del rodal no necesariamente representa los árboles que formarán el rodal futuro, que probablemente no serán más de 200 individuos (Pilquinao *et al.*, 2020). Para tener una impresión de las características de los árboles más gruesos del rodal, se muestra en **Cuadro 6**, los parámetros dasométricos para los 100 árboles más gruesos de cada rodal.

Cuadro 6. Parámetros dasométricos para los 100 árboles más gruesos de cada rodal, a la edad de 21 años y 4 años después del segundo raleo.

Parámetros	Bosque secundario (2011)	Bosque secundario (2020)	Plantación (2022)
Edad	21 años	30 (26-34) años	21 años
Año desde el último raleo	2	4	4
N° de árb/ha	100	100	100
DAP	21,5	26,9	27,2
Área Basal	3,5	5,6	5,8
Altura	20,4	25,1	22,0
Volumen	25,2	51,2	44,4

El análisis con los 200 árboles más gruesos, arrojó la misma diferencia en las dimensiones de los individuos del bosque secundario versus la plantación.

En las **Figuras 4 y 5** se muestran la distribución diamétrica de ambos rodales, en el caso del bosque secundario para los años 2011 y 2020 y en el caso de la plantación al año 2022. En el bosque secundario, en la distribución del año 2011, a los 21 años de edad, se observa un rango de diámetro de 16 cm (6-22 cm). En la plantación a la misma edad, este rango es mayor (12-32 cm) sin embargo, un 93% de los árboles se concentra solo entre 16-26 cm. Al año 2020, 4 años después del segundo raleo, el rango y la diferenciación de diámetros en el bosque secundario ha aumentado, mostrando una estratificación del rodal, probablemente como consecuencia de un raleo por lo alto y alcanza máximos de diámetro parecidos a la plantación.

Crecimiento de los Rodales

Se perciben tasas de crecimiento más altas por árbol en la plantación que en el bosque secundario (**Cuadro 7**). Comparando la acumulación de volumen en ambas situaciones al año 21, la plantación también supera al bosque secundario. No ocurre lo mismo si se comparan ambas situaciones 4 años después del raleo, con 21 y 32 años para la plantación y el bosque secundario respectivamente. Llama la atención la mantención de las tasas de crecimiento través del tiempo en el bosque secundario. Sin embargo, en la comparación con la plantación las tasas de crecimiento son menores.

Reacción al Raleo

Para analizar en más detalle la reacción a los raleos se analizaron los datos obtenidos de los tarugos de crecimiento en el bosque secundario, obteniendo tasas de crecimiento pre y post raleo. Estos se comparan con los datos de la plantación (**Cuadro 8**), publicados por Müller-Using *et al.* (2020).

Los raleos analizados se realizaron a la de edad de 6 y 11 años en el caso de la plantación y a la edad de 13 y 19 años en el bosque secundario. Además, se evaluaron los datos antes y después de los raleos a nivel de rodal, considerando área basal (AB) y volumen. Los resultados se muestran en **Cuadro 9**.

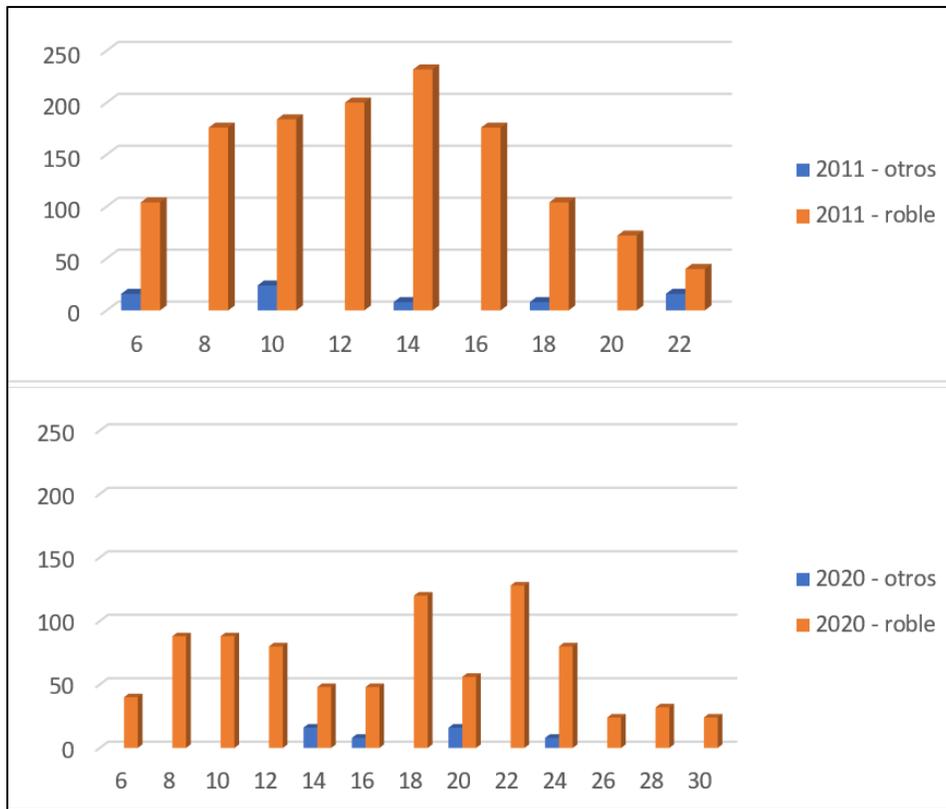


Figura 4. Distribución diamétrica del bosque secundario al año 2011, 2 años después del primer raleo (arriba) y al año 2020, 4 años después del segundo raleo (abajo).

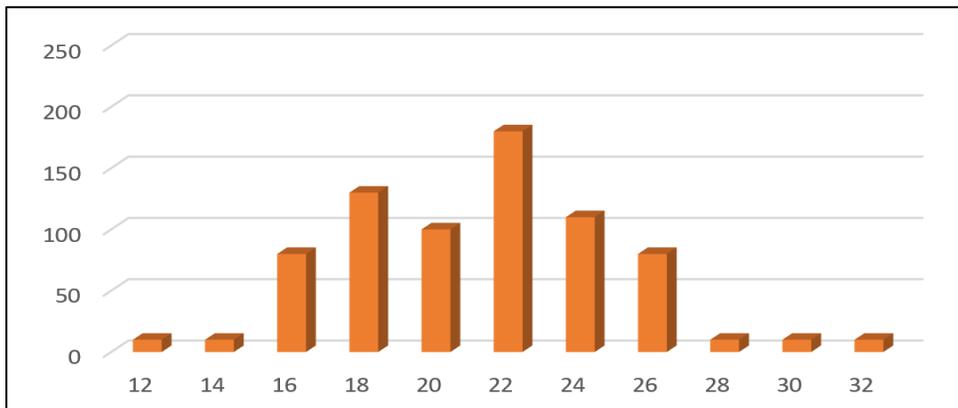


Figura 5. Distribución diamétrica de la Plantación al año 2022, 4 años después del segundo raleo.

Cuadro 7. Incremento medio anual de los árboles dominantes y codominantes residuales y crecimiento acumulado (árboles con diámetro >5 cm).

Parámetros	Bosque secundario (21 años)	Bosque secundario (30 años)	Plantación (21 años)
Incremento Diámetro (cm/año)	0,6	0,6	1,0
Incremento Altura (m/año)	0,9	0,8	1,3
AB, incl. raleos (m ² /ha)	27,8	42,5	39,3
Volumen, incl. raleos (m ³ /ha)	168,2	314,3	255,8
Incremento AB (m ² /ha/año)	1,3	1,4	1,9
Incremento Volumen (m ³ /ha/año)	8,0	10,5	12,2

Cuadro 8. Crecimiento de diámetro pre y post raleo en los árboles dominantes y codominantes muestreados a través de tarugos.

Parámetros	Bosque secundario	*Plantación
IPA 5 años antes de raleo 1 Diámetro (cm/año)	0,59 (1,22; 0,19)	0,96
IPA 5 años post raleo 1 Diámetro (cm/año)	0,55 (1,07; 0,29)	0,96
IPA 5 años post raleo 2 Diámetro (cm/año)	0,53 (1,25; 0,05)	1,08

* Datos provenientes de Müller-Using *et al.* (2020).

Cuadro 9. Crecimiento periódico anual (IPA) de altura, área basal y volumen determinado a través de mediciones anuales de las parcelas de muestreo.

Parámetros	Bosque secundario	*Plantación
IPA 5 años post raleo 1	AB (m ² /ha/año)	0,97
	Volumen (m ³ /ha/año)	10,70
IPA 5 años post raleo 2	AB (m ² /ha/año)	0,64
	Volumen (m ³ /ha/año)	6,9

*Datos provenientes de Müller-Using *et al.* (2020)

De los datos se desprende que la diferencia en el crecimiento del área basal aumenta después del segundo raleo. Eso puede deberse a la diferencia de edad que los rodales tienen en ese momento, así como a la cantidad de árboles suprimidos que se encuentran aún en el bosque secundario, lo que se ha visualizado ya en la distribución diamétrica de **Figura 3**.

Además del crecimiento hay otros aspectos que son importantes al momento de evaluar los efectos del raleo. Uno corresponde a la diversidad del rodal y otro a la calidad, que es decisiva para el valor maderero.

El Valor Económico

Uno de los principales objetivos del raleo, es optimizar el valor económico del bosque. Los resultados de la evaluación económica actual del bosque secundario y de la plantación que abarca solamente el tiempo de crecimiento a la edad de 34 y 21 años, respectivamente, se presentan en **Cuadro 10**. Esta evaluación, no llega a diámetros de cosecha reales, de modo que solo indica como se equilibran los costos de establecimiento y mayor crecimiento de la plantación, con la duración de establecimiento y el mayor crecimiento en volumen del bosque natural. La diferencia de valor presente neto (VPN) entre el bosque secundario y la plantación es de 403 US\$/ha a favor del bosque secundario. Se destaca que la plantación, a pesar de tener un costo de establecimiento bastante alto, a los 21 años ya está alcanzando el VPN de un bosque nativo de 34 años. Lo que está mostrando esta evaluación, es la diferencia en

crecimiento medio anual que tienen las dos situaciones analizadas, la plantación tiene un IMA de 12,2 m³/ha/año y el bosque nativo 9,4 m³/ha/año.

Este mayor crecimiento en la plantación permite que a partir de los 20 años de edad, el costo de establecimiento se comience a compensar con el mayor crecimiento. Habrá que analizar a futuro como se diferencian los volúmenes en el resto de los productos esperados.

Cuadro 10. Evaluación económica actual de los rodales.

Parámetros	Bosque secundario	Plantación
VNP (US\$/ha)	3.644	3.241
Edad cosecha (años)	34	21
Volumen a edad cosecha (m ³ /ha)	184,5 (34 años)	197,7 (21 años)
Raleo 1 (m ³ /ha)	39,2 (18 años)	22,2 (12 años)
Raleo 2 (m ³ /ha)	90,6 (24 años)	35,9 (17 años)

Esta evaluación no incluye aún las diferencias en calidad. Sin embargo, este aspecto será de importancia al momento de alcanzar diámetros de madera aserrada.

Calidad

Usando la matriz de evaluación de calidad de fuste (**Cuadro 3**), se asignó a cada árbol el puntaje de cada criterio evaluado, según el nivel definido (1, 2, 3). La suma de todos los criterios generó valores por árbol con valores entre 6 y 13 puntos (a menor puntaje mayor calidad). Finalmente se definió el grado de calidad dividiendo el puntaje en tres rangos: Calidad 1: [6-7puntos]; Calidad 2 [8-10 puntos]; Calidad 3 [mayor a 10 puntos], donde Calidad 1 es la mejor y calidad 3 la peor. Sin embargo, hubo criterios descalificadores que llevaron la muestra directamente a un grado de calidad 3, sin considerar otros criterios (daños severos y bifurcación debajo de 3,8 m de altura).

La participación porcentual de los tres grados de calidad en los rodales de plantación y bosque secundario se presenta en el **Cuadro 11**. La mayor diferencia se da entre los grados 1 y 2, en favor del Bosque secundario.

Cuadro 11. Distribución porcentual de las categorías de calidad de los árboles en los rodales de Plantación y Bosque secundario

Categoría	Bosque secundario	Plantación
Calidad 1 (mejor)	42%	11%
Calidad 2 (intermedia)	33%	71%
Calidad 3 (peor)	25%	18%

En **Cuadro 12** se compara la calidad promedio de los fustes del bosque natural con la plantación. En ambos casos ya se habían realizado dos raleos, favoreciendo los individuos de mayor calidad.

La leve desventaja de calidad de la plantación, probablemente disminuirá con los próximos raleos a través de los cuales se rebajará el número de árboles hasta llegar a los 200 del rodal final.

En **Cuadro 13** se muestran los promedios obtenidos por cada criterio de calidad, excepto los parámetros descalificadores. Comparando los valores queda evidente que el ángulo de ramas y el diámetro de ramas son los parámetros que marcan la diferencia de calidad entre ambas situaciones.

Cuadro 12. Calidad maderera de los árboles en los rodales estudiados, después de dos raleos.

Parámetros	Bosque secundario	Plantación
Grado de calidad promedio	1,8	2,1
Porcentaje de árboles con grado 3	25%	18%
Calidad promedio sin grado 3	1,2	1,8
Número de arboles con calidad 1/ha	360	70
Árboles con 2 trozas efectivas/ha (clase 1)	264 (184)	240 (60)

Cuadro 13. Clasificación de la calidad maderera por los 4 principales parámetros.

Parcela	Angulo de ramas	Diametro de ramas	Forma del fuste	Rectitud fustal
1	1,8	2,0	1,0	1,7
2	2,1	2,2	1,1	1,9
Plantación	1,9	2,1	1,0	1,8
4	1,2	1,2	1,1	2,0
5	1,3	1,4	1,0	2,3
Renoval	1,3	1,3	1,0	2,1

Según muestra el **Cuadro 14**, y de acuerdo a la hipótesis nula, que no existe relación entre las variables de grado de calidad y el origen de los árboles (Plantación/ Bosque secundario). El criterio de aceptar o rechazar la hipótesis nula se hace considerando el valor de p (p-value), a un nivel de significancia al 5% . Como resultado se rechaza la hipótesis nula, es decir, si hay relación entre el origen del árbol y su grado de calidad.

Cuadro 14. Parámetros estadísticos sobre la relación entre el origen del árbol y su grado de calidad (p-value).

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	31,04	2	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	33,25	2	<0,0001
Coef. Conting. Cramer	0,29		
Coef. Conting. Pearson	0,38		

A partir de los datos de crecimiento y calidad se puede concluir que, al momento de la evaluación, los rodales no se diferencian en su valor económico, aunque es probable que en el futuro se diferencien, dependiendo de los productos que se alcancen y de la edad de cosecha.

Los datos de crecimiento han demostrado que, según su condición actual, el bosque secundario crece a 0,6 cm en dap al año, y la plantación a 1,0 cm/año. Con el dap actual al bosque secundario le faltan 30 años para llegar a 45 cm, y a la plantación le faltan 18 años (considerando que tienen actualmente similar dap: 26,9 y 27,2, y crecen al mismo ritmo). Así, el bosque secundario habrá alcanzado los 45 cm a los 60 años y la plantación a los 39 años, es decir con 21 años de diferencia. En un escenario más conservador, en que la plantación crezca a la misma tasa que el bosque secundario hoy, esta alcanzaría los 45 cm de diámetro meta con 51 años, aún 10 años antes que el bosque secundario.

Biodiversidad y Raleo

Además del valor maderero de un bosque, también es de importancia su composición de especies, como aporte a la biodiversidad. Este aspecto solo se ha analizado en el bosque secundario (**Cuadro 15**), dado

que la plantación solo contempló roble y a la fecha no se han establecido otras especies de forma natural. Por el contrario, en el bosque secundario se han establecido laurel (*Laurelia sempervirens*), tepa (*Laureliopsis philippiana*), arrayán (*Luma apiculata*), radial (*Embothrium coccineum*) y maqui (*Aristotelia chilensis*).

Cuadro 15. Porcentaje de especies acompañantes en el bosque secundario antes y después del raleo.

Año	raleo	Proporción de especies acompañantes	Porcentaje del área basal correspondiente a especies acompañantes
2009	antes del raleo	9%	7%
2010	después del 1er raleo	5%	5%
2017	después del 2do raleo	5%	5%

A primera vista puede sorprender la disminución de las especies acompañantes después del primer raleo, puesto que la biodiversidad es una salvaguarda a respetar en el manejo de bosque nativo. Una razón es porque las especies acompañantes se han originado a través de regeneración vegetativa y sus fustes fueron disminuidos en función de mejorar su incremento fustal. Por otro lado, había individuos con copas muy extensas, de radial, por ejemplo, que inhibían el crecimiento de otras especies acompañantes de mayor valor, como laurel y tepa.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Distintos países en el mundo con vocación forestal, a diferencia de Chile, definen sus bosques solo por su composición, sea este natural o plantado, valorando, independiente de su origen, su aporte ambiental al igual que su aporte económico.

Con objeto de aportar a esta discusión en el presente estudio se comparan un bosque natural secundario de roble con una plantación de la misma especie en términos de composición, crecimiento y de calidad fustal.

Respecto del sitio, ambos rodales se encuentran en la misma ladera y tienen características semejantes. Para los rodales solo se dispone de algunas variables del suelo: densidad, textura, y contenido de carbono, lo que no permite una comparación detallada del sitio, que pudiera generarse debido al anterior uso (pradera – bosque). En términos generales, para la caracterización del sitio, [Thiers et al. \(2012\)](#) publicaron un perfil químico detallado de un rodal adyacente que muestran un suelo con alto contenido de materia orgánica y una alta concentración de nitrógeno total, calcio y magnesio. Los niveles de potasio y cobre son medios, mientras el fósforo muestra un nivel muy bajo. Según [Karlen et al. \(1997\)](#), se trata de un suelo de buena calidad.

El raleo es un factor que influye en el crecimiento de los árboles, reduciendo la densidad y concentrando el potencial del sitio en los individuos remanentes. Ambos rodales fueron raleados 2 veces. Sin embargo, una dificultad en esta comparación es la diferencia de edad a la cual se realizaron estas intervenciones. Un estudio en bosques de roble a una altura de 320 msnm en la Comuna de Futrono ([Ciampi, 2010](#)) ha demostrado una culminación del crecimiento diametral entre las edades de 19 y 24 años (según exposición). Considerando estos valores, el raleo en el bosque natural del presente estudio, se realizó al momento de la culminación del crecimiento corriente, i.e. a los 19 años. En la plantación en cambio, el primer raleo ya se realizó a los 12 años, aprovechando un mayor rango de alto crecimiento, en este mismo sentido, [Donoso et al. \(1993\)](#) también indican que el crecimiento de los renovales de roble es mayor entre 10 y 20 años de edad.

El crecimiento medio de ambos rodales se encuentra dentro de los valores reportados por Donoso (*op. cit.*) para estos tipos de bosque, quien reporta incrementos medios anuales en diámetro y altura de 0,61-0,75 cm/año y 0,58-0,65 m/año, respectivamente, para bosques secundarios manejados. En el caso de plantaciones, los mismos autores determinan incrementos medios anuales medios en diámetro de 1,08-1,28 cm/año y en altura de 0,85-0,98 m/año.

La baja densidad de la plantación le ha permitido tomar ventaja a los robles, debido a un crecimiento en condiciones de poca competencia, mientras que el bosque secundario con 2.776 árboles por hectárea, aún a los 19 años, cuando se realizó el primer raleo, enfrentaba condiciones menos favorables. Esto se expresa en una diferencia significativa de incremento diamétrico entre ambos rodales. El análisis de los tarugos de crecimiento arrojó que, a una edad cercana a 10 años, el crecimiento de los árboles ya había sido restringido, probablemente por la alta densidad, lo que podría haberse evitado mediante un clareo.

Sin embargo, y tal como se esperaba, la calidad maderera del rodal se vio beneficiada por la alta densidad, lo que se expresa principalmente en el menor grosor de las ramas y el ángulo más abierto de las mismas. Si bien la calidad de la plantación ha mejorado mucho a través de los raleos (Müller-Using *et al.*, 2020), subiendo de categoría 3 a 2, todavía está por debajo del bosque natural.

Ambos rodales estudiados se encuentran por sobre el promedio regional de los renovales del tipo Roble-Raulí-Coigüe, que indica que solo el 11% y 20% de los fustes alcanza grados de calidad apta para madera debobinable y aserrable, respectivamente (Martin y Müller-Using, 2012). En relación a los defectos que desclasifican un uso debobinado de trozas de roble, Emanuelli y Milla (2006) encontraron que en el 45% de los casos se trataba de defectos relacionados con una deficiente autopoda. Específicamente se trata de nudos vivos y muertos, así como cicatrices de ramas. Estos defectos se relacionan a los parámetros “grosor de ramas” y “ángulo de ramas”, encontrados como criterio de calidad diferenciador entre los fustes de la plantación y los del bosque natural. De aquí se pueden desarrollar a futuro diferencias en el potencial uso de la madera, restringiendo el uso debobinable en la plantación.

En el análisis económico resultó relevante el costo de establecimiento de la plantación, versus el tiempo que se demora en instalar un bosque natural. En el presente estudio el bosque natural demoró 8 años en instalarse. Para una regeneración natural esto no es mucho, considerando que Donoso *et al.* (1999) determinaron que el tiempo de instalación de dos rodales de coigüe (*Nothofagus dombeyi*) fue 10 y 13 años. Para regenerar a través de un proceso de corta selectiva, Chauchard *et al.* (2001) definen una duración de 20 años.

En términos de composición, el bosque originado de regeneración natural es más diverso que la plantación, aunque tiene una participación de solo 5% de especies diferentes a la principal, lo que sigue definiéndolo como un bosque puro (Bartsch y Röhrig, 2016). El porcentaje de participación de otras especies es bajo en comparación con la media regional de estas formaciones. Según Müller-Using *et al.* (2012) en la región de Los Ríos la participación de especies distintas a roble o raulí en renovales dominados por estas especies es de alrededor del 30%. Esto probablemente se debe a la temprana fase sucesional en la cual se encuentra el rodal estudiado (Rojas, 2007).

Un aspecto que en este estudio no se aborda es el origen genético de la plantación. Sin embargo, son conocidas las grandes diferencias en rendimiento de roble y raulí según su procedencia, y existen huertos semilleros de primera y segunda generación establecidos que permitirían una selección dirigida del material genético a utilizar (Ipinza *et al.*, 2000).

REFERENCIAS

- Bartsch N. & Röhrig E. (2016). Waldökologie. Einführung für Mitteleuropa. Springer Spektrum, 417 Seiten, ISBN 978-3-662-44267-8. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44268-5>
- Barría, L. (1996). Comparación de la estructura y crecimiento de una plantación de roble-raulí, con una de roble-raulí-ulmo, en la provincia de Valdivia. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.}

- Cámara de Diputadas y Diputados. (2022).** https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=248368&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION
- Chauchard, L., Maresca, L. & González Peñalba, G. (2001).** Método para evaluar el estado regenerativo de un rodal y su aplicación al manejo del bosque mixto de *Nothofagus*. *Quebracho* 9: 29-42.
- Ciampi, A. (2010).** Crecimiento de dos rodales de roble (*Nothofagus obliqua*) en condiciones de exposición y pendiente diferentes en la comuna de Futrono. Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales) (2001).** Estudio Agrológico X Región. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Tomo I. Santiago, Chile. 199 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). (2012).** Ley sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal y reglamentos. Ley núm. 20.283. Santiago, Chile. 90 p.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. (2020).** InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Donoso, P. (1988).** Caracterización, crecimiento y proposiciones silviculturales para comunidades de *Nothofagus* en el Área Protección "Radal-7 Tazas", VII Región. Tesis Ing. For., Fac. Cs. For., Universidad Austral de Chile, p. 101.
- 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., Cabezas, C., Lavanderos, A. & Donoso, C. (1999).** Desarrollo de renovales de coihue común (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.) en la Cordillera de la Costa y de los Andes de la provincia de Valdivia en sus primeros 25 años. *Bosque*, 20(2): 9-23. <https://doi.org/10.4206/bosque.1999.v20n2-02>
- Donoso, P. & Soto, D.P. (2010).** Plantaciones con especies nativas en el centro-sur de Chile: experiencias, desafíos y oportunidades. *Revista Bosque Nativo*, N° 47. Pp: 10-17.
- Emanuelli, P. & Milla, F. (2006).** Alternativas de productos madereros del bosque nativo chileno. CONAF y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Santiago de Chile. 159 p.
- Espinosa, M., García, J. & Peña, E. (1988).** Evaluación del crecimiento de una plantación de Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) a los 34 años de edad. *Agro-ciencia* 4: 67-74.
- Fierro, D. (1998).** Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. (Conaf/GTZ, Ed.) Santiago, Chile.
- Gobierno de Chile. (2020).** Contribución determinada a nivel nacional (NDC) de Chile, Actualización 2020. 51 p. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/NDC_Chile_2020_espan%CC%83ol-1.pdf
- Grosse, H. y Quiroz, I. (1999).** Silvicultura de los Bosques de Segundo Crecimiento de Roble, Raulí y Cogüe en la Región Centro-Sur de Chile. En Donoso, C. y A. Lara eds. *Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. Pp: 95-128.
- Grosse, H. (2009).** Silvicultura del bosque nativo chileno, función histórica y proyecciones futuras sobre la base de manejo sustentable. Instituto Forestal. 136 p.
- Hernández, G. & Pinilla, J. (2010).** Propiedades de la madera de especies forestales nativas y exóticas en Chile. Concepción, Chile. INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/18505>
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). (1989).** Mapa agroclimático de Chile. Santiago, Chile. Ministerio de Agricultura. 221 p.
- Ipinza, R., Gutiérrez, B. & Emhart, V. (Eds). (2000).** Domesticación y mejora genética de raulí y roble. Instituto Forestal, Universidad Austral de Chile. Santiago. 468 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/462>

- Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J.W., Cine, R., Harris, R. & Schuman, G. (1997)** Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.*, N° 61. Pp: 4-10. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>
- Lara, A.; Donoso, C. & Aravena, J.C. (1996).** La conservación del bosque nativo en Chile: problemas y desafíos. En Armesto J., C. Villagrán, M. Arroyo eds. *Ecología de los bosques nativos de Chile*, Santiago, Chile. Editorial Universitaria. p. 335-362.
- Lara, A., Echeverría, C. & Donoso, C. (2000).** Guía de ensayos silviculturales en los bosques nativos de Chile. World Wildlife Fund, Universidad Austral de Chile.
- Martin, M. & Müller-Using, S. (2012).** Descripción del Estado actual de Renovales de Roble-Raulí-Coigüe: Regiones del Bio Bio a Los Ríos. Informe Técnico Nr. 188. Infor. Santiago. 22 p.
- Martin, M., Büchner, C., Sagardía, R., Bahamondez, C., Rojas, Y., Guzmán, F., Barrientos, M., Barrales L. & Guíñez, R. (2020).** Disponibilidad de madera nativa en renovales de Roble- Raulí- Coihue. Regiones de Ñuble a Los Ríos 2020 - 2049. INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/30443>
- Martínez, A. (1999).** Silvicultura práctica en renovales puros y mixtos y bosques remanentes originales del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue. In Donoso C, A Lara eds. *Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile*. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. Pp. 145-175.
- 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., Martin, M. & Merino, R. (2012).** El diagrama de densidad de Gingrich como herramienta para la planificación de raleos en renovales del tipo roble-raulí-coigüe. Santiago, Chile: INFOR.
- Pilquinao, B., Martin, M., Müller-Using, S., Rojas, Y., Villalobos, E., Guíñez, R. & Barrientos, M. (2020).** Treinta años de manejo de renovales de roble un análisis de su respuesta en crecimiento y estructura. *Ciencia & Investigación Forestal*, 26(3): 7–32. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.535>
- Reyes, R., Gerding, V., & Donoso, C. (2007).** Crecimiento de una plantación de *Nothofagus nervosa* durante 20 años en Valdivia. *Bosque (Valdivia)*, 28(2): 129-138. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002007000200005>
- Rojas, Y. (2007).** Modelo de planificación forestal con fines múltiples en bosques secundarios de Roble-Raulí-Coihue: Aplicación a la comuna de Lanco en Chile. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Pp. 204.
- Rojas, Y. (2011).** Programa de adaptación de bosque nativo a los efectos del cambio climático. Unidad demostrativa Panguipulli. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/27296>
- Rojas, Y., Gerding, V., Bahamondez, C., Molina, E. & Sagardía, R. (2020).** Contenido y Cantidad de Carbono del Suelo en Bosque Nativo de la Región de Los Ríos. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 233. 21 p.
- Rykowski, K. (2002).** La conservación de la diversidad biológica como elemento de la gestión forestal sostenible: normas y práctica en Polonia. *Unasyvla*, 209(53): 16 –24.
- Schlegel, B. & Rojas, Y. (2020).** Ecosistemas dominados por *Nothofagus* – Tipo Forestla Roble-Raulí-Coihue. En: Müller-Using, Sabine (ed.) 2020. *El Manejo de Renovales de Roble-Raulí-Coihue en una Resumida Mirada: Estadísticas e investigaciones en curso*. Instituto Forestal, Chile. Documento de Divulgación N° 52. Pp: 6-17.
- Thiers, O., Gerding, V., Reyes J., & Gayoso, J. (2012).** Bases edáficas para silvicultura en bosques nativos de Chile: Sistematización y validación de información sobre características y procesos de suelos. Informe Final. Proyecto del Fondo de Investigación de Bosque Nativo (CONAF 042/2010). 216 p.