

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

Müller-Using, Burkhard¹²; Tiemann, Marion¹³; Donoso, Pablo¹⁴ y Wolf, Bárbara¹²

RESUMEN

En el año de 2002 una superficie de 3 ha de pastizales, situada al pie de monte andino en el Centro Sur de Chile, fue forestada con roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.). El crecimiento de este rodal plantado fue monitoreado durante 16 años.

Se presentan los resultados de 3 inventarios consecutivos a las edades de 6; 11 y 16 años, incluyendo evaluaciones de la calidad exterior de los árboles. Se realizaron dos raleos, el primero a 11 años y el segundo a 16 años de edad. Además, se estudiaron los efectos de estas intervenciones sobre la calidad de los latizales.

La producción total en volumen, antes del segundo raleo (edad 16 años), fue 235 m³/ha (volumen con corteza y diámetro límite a la punta de 7 cm). En este momento, el rodal mostraba una altura media de 17,4 m y un DAP de 19,1 cm.

El desarrollo futuro fue estimado mediante una matriz de pronóstico que incluye 3 raleos más. En base de esta estimación el rodal alcanzaría su diámetro meta de 50 cm a la edad de 55 años. En aquel momento los 148 árboles remanentes contendrían al menos dos trozos aserrables de 3,60 m c/u.

Todos los costos, con el valor del suelo incluido, fueron contrapuestos al valor de los productos como leña y madera aserrada, para evaluar la tasa efectiva de retorno de una inversión que aplique las técnicas silvícolas descritas en este trabajo.

Esta tasa de retorno se calculó en un 4%. La forestación con roble demostró un éxito financiero considerable al compararla con el rendimiento de plantaciones con especies latifoliadas en Europa Central.

Palabras clave: Chile, Plantación, Latifoliadas, Manejo, Crecimiento, Calidad fustal, Evaluación económica.

¹² Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Depto. Silvicultura. burkhardmusing@yahoo.de

¹³ Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE), Fachbereich Wald und Umwelt,

¹⁴ Universidad Austral de Chile, Dpto. Bosque y Sociedad

SUMMARY

In 2002, an area of 3 ha of grassland, located at the foot of the Andean mountains in the South Central of Chile, was afforested with Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.). The growth of this planted stand was monitored over 16 years.

The results of 3 consecutive inventories at the ages of 6, 11 and 16 years old are presented, including evaluations of the external quality of the trees. Two thinnings were carried out, the first at 11 years and the second at 16 years. In addition, the effects of these interventions on the quality of the pole stands were studied.

The total production in volume, before the second thinning (age 16 years), was 235 m³/ha (volume with bark and diameter limited to the tip of 7 cm). At this time, the stand showed an average height of 17.4 m and an average DBH of 19.1 cm.

Future development was estimated using a forecast matrix that includes 3 more thinnings. Based on this estimate, the stand would reach its target diameter of 50 cm at the age of 55 years. At that time, the 148 remaining trees would contain at least two sawable pieces of 3.60 m each.

All costs, with the value of the land included, were compared to the value of products such as firewood and sawn wood, to evaluate the effective rate of return on an investment that applies the silvicultural techniques described in this work.

This rate of return was calculated as to be 4%. Afforestation with Roble demonstrated considerable financial success when compared to the yield of plantations with broadleaved species in Central Europe.

Key words: Chile, Afforestation, Broadleaved, Management, Growth, Stem quality, Economic evaluation.

INTRODUCCIÓN

En Chile, alrededor de 1 millón de hectáreas de bosques secundarios compuestos de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (roble) y *Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst. (raulí) ocupan sectores de la parte Centro Sur del país. Hoy en día, la gran mayoría de estos bosques se encuentran en un rango de edad entre 40 y 90 años, por lo que muchos de ellos han alcanzado o están acercándose al fin de su período de rotación. Las opciones silvícolas son su regeneración natural o su remplazo a través de plantaciones con las mismas especies ya que la sustitución por especies exóticas está legalmente prohibida.

La primera opción, por varias razones, no se está practicando a mayor escala y forestaciones y reforestaciones con latifoliadas nativas han sido realizadas a una escala algo más extensa y varios trabajos sobre el desarrollo de roble, raulí o mezclas de ellos han sido publicados. (Grosse, 1987; Espinosa, *et al.*, 1988; Donoso *et al.*, 1993; Wienstroer *et al.*, 2003; y Müller-Using *et al.*, 2005). De esta forma, se ha visto que no hay mayores problemas o riesgos en la fase del establecimiento y que su crecimiento en las siguientes fases de brinzal y latizal es muy prometedor, como ha sido reportado para la región de los Ríos, donde ambas especies pueden alcanzar un crecimiento medio anual de entre 13 y 15 m³/ha durante los primeros 20 años de edad.

Ambas especies pueden potencialmente producir madera de alto valor. Su grado de calidad depende de factores genéticos y ambientales, pero también y en especial, si se trata de especies de latifoliadas, del tratamiento silvícola al que estén sometidas.

En Europa, el aspecto de la calidad de fuste de especies latifoliadas ha sido intensamente estudiado desde hace algunos decenios. (Teisser du Crois and Thiebault, 1988; Göckel, 1994; Börner *et al.*, 2002; Leonhardt und Wagner, 2006; Linnert, 2009; Weidig *et al.*, 2014; Bednar, 2016). Estos estudios, en su mayoría, han sido elaborados en rodales muy jóvenes, donde todavía es difícil predecir la futura calidad fustal de los árboles a la edad de cosecha. Esto es más evidente aún, si se considera el largo tiempo de producción que necesitan, por ejemplo las especies haya (120 años) y encino (160 años) en Europa.

En Chile, se encontró solo un estudio referido al desarrollo de la calidad fustal en plantaciones de latifoliadas, como roble, raulí y coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.), a la edad de 10 años (Wienstroer *et al.*, 2003). Estos autores elaboraron una matriz para evaluar la calidad fustal que se basó en 5 criterios de apariencia exterior: (i) daños visibles, (ii) rectitud, (iii) bifurcaciones, (iiii) grosor de las ramas y (iiii) excentricidad del fuste. Como resultado ellos distinguieron entre árboles de “buena forma” y árboles de “mala forma”.

Plantados en campo abierto, roble y raulí mostraron más o menos el mismo comportamiento con 33% con “buena forma” sobre todos los análisis hechos a la edad de 10 años, mientras que coihue solo alcanzó un 9 %. Plantados en pequeños claros (sombra lateral) las calidades promedio de roble, raulí y coihue subieron a niveles más altos (53%, 49%, y 29%, respectivamente). Este estudio habría llevado a predicciones más interesantes desde el punto de vista comercial, si hubiese sido posible extenderlo a un más amplio período de observación. De esta manera habría sido posible transformar las calificaciones algo preliminares de “buena forma” y “mala forma” en clases de calidad de productos comerciales.

El trabajo aquí presentado trata de superar este déficit a través de observaciones continuas sobre 17 años de desarrollo de una plantación de roble. La hipótesis es de poder alcanzar una predicción más realista del desarrollo en calidad, al momento de haber alcanzado 1/3 del tiempo de rotación, cuando por lo menos se pueden analizar dos trozos consecutivos en los fustes del rodal.

Además, se podría incluir de este modo el efecto que ejercen los primeros dos raleos sobre el desarrollo en calidad de la plantación, aspecto que según la hipótesis formulada es muy importante. Finalmente, datos muy precisos sobre crecimiento, combinados con un escenario de futuros raleos y predicciones en calidad podrían llevar a predecir el retorno financiero de una inversión en una plantación de las características descritas en este trabajo. Hasta ahora no se conoce ningún estudio comparable que combine un largo tiempo de observación, evaluaciones aplicadas a la demanda comercial y la influencia de raleos sobre el desarrollo cualitativo en el contexto de bosques nativos secundarios en Chile.

MATERIAL Y MÉTODO

Clima y Condiciones del Sitio

En el año de 2002 se forestó un pastizal en el predio Millahue, Comuna de Panguipulli (39° 30' S; 72° 30' O). Las plantas de roble tenían 2 años, con una altura de 60 a 80 cm, y fueron plantadas con un espaciamiento de 2 x 3 m.

Panguipulli está en la zona de clima templado de Chile, con leve tendencia hacia un clima mediterráneo. Esto se muestra en los meses de enero y febrero, en los que hay pocas o nulas precipitaciones. Según registros de largo plazo, las precipitaciones medias anuales son de 2.500 mm. Sin embargo, puede haber grandes desviaciones de esta media (Ej. 2013: 1616 mm). La temperatura media anual es de 9,5°C, el mes de junio suele ser el mes más frío, con una temperatura media de 6,4°C, y enero el mes más cálido, con 14,7°C. La temperatura media de noche en junio es de -1,0°C. (Agromet, 2018).

Los suelos del área de forestación se formaron de cenizas volcánicas depositadas por 2 erupciones consecutivas. En el proceso de la descomposición de este material se formaron los suelos de la serie Trumaos, que se destacan por una aeración satisfactoria y una buena capacidad de retención de agua, debido a su contenido y porcentaje característico de grano fino limo/arenoso.

Se analizó un perfil en el área de la plantación que muestra la dinámica de los suelos pardos, ricos en humus, de mediana profundidad sobre otro estrato de deposiciones de ceniza, también con dinámica de suelo pardo. En las partes inferiores de los dos estratos superpuestos de suelos pardos se encuentra un horizonte más claro y más endurecido, proveniente de un desplazamiento en profundidad de minerales de arcilla. El más alto contenido de arcilla en estas zonas aumenta la capacidad de retención de agua. Tratándose de un suelo con buen contenido de nutrientes, el sitio se puede calificar como muy favorable para el crecimiento de especies nativas latifoliadas.

Diseño de Muestreo y Métodos Aplicados

En 2008, a la edad de la plantación de 6 años, se estableció un muestreo con 3 pares de parcelas, 6 parcelas en total, cada una con una superficie de 500 m². Se midieron las alturas y los DAP de cada uno de los 75 árboles en estas parcelas.

Además, se elaboró una matriz para evaluar las calidades de los fustes, basada, en parte, en una matriz usada por Wienstroer *et al.* (2003). De este modo se evaluaron seis parámetros diferentes de cualidad (Cuadro N° 1). A cada parámetro se le atribuyó una escala de valoración entre 1 y 3 para así calificarlo con una nota. A continuación se calcularon las medias de las 6 notas para calificar el fuste en su totalidad.

El largo convencional de las trozas utilizables para aserrío en Chile es de 3,6 m con un diámetro mínimo a la punta de 24 cm cc. Es necesario considerar que los criterios evaluados no son todos de la misma importancia para la futura utilización de la troza para aserrío. Por ejemplo, fustes con daños severos (nota 3) o con bifurcación en las partes bajas iban a ser eliminados como madera aserrable aunque en otros criterios hubiesen recibido las nota 1 o 2. Además, fustes que llevan la nota 3 en excentricidad o grosor y ángulo de las ramas con todos las demás criterios bien evaluados, podrían pasar por aserrable.

En base de la suma de las notas alcanzada se le dio un grado de calidad a cada árbol (de 1 a 3). El grado 1 se aplica si la suma de las notas no excede 7 puntos, el grado 2 engloba el grupo que tiene 8 -10 puntos y el grado 3 fue atribuido a los árboles que alcanzan 11 puntos o más.

Cuadro N° 1
MATRIZ PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FUSTAL DE LOS ÁRBOLES
EN UN RODAL JOVEN DE ROBLE

Criterio: Daños	Criterio: Bifurcación
1 Nigún daño	1 No hay bifurcación (hasta 7.40 m de altura del fuste)
2 Algún daño menor	2 Bifurcación más arriba de 3.80 m de altura del fustes
3 Daño severo	3 Bifurcación más abajo de 3.80 m de altura del fuste
Criterio: Rectitud del fuste	Criterio: Diámetro de las ramas
1 Fuste recto	1 Diámetro < 2cm
2 Fuste curvado hacia un lado	2 Diámetro > 2cm; < 4cm
3 Fuste curvado hacia varios lados	3 Diámetro > 4 cm
Criterio: Forma del fuste (excentricidad)	Criterio: Ángulo de las ramas ^{*)}
1 Circular	1 Ángulo < 20°
2 Levemente elíptico	2 Ángulo > 20°; < 45°
3 Fuertemente elíptico	3 Ángulo >45°

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

El proyecto de investigación contó con financiamiento para 3 años. Después de este lapso se logró un arreglo con el propietario del predio para que él continuara las observaciones, ejecutando las mediciones después de otros 5 y 10 años. Esto se realizó en cooperación con el Área de Bosque y Ambiente de la HNE Eberswalde en Alemania. En esta segunda fase de observaciones se decidió seguir solo con aquella pareja de parcelas que representaba mejor el desarrollo promedio de la plantación. Así, en 2013 y 2018 el crecimiento y la calidad de los fustes fueron medidos de nuevo en estas parcelas seleccionadas. En 2013 el rodal había alcanzado el estado de un brinzal y en 2018 de un latizal. En estos estados de desarrollo, se debían medir el ángulo y diámetro de las ramas usando una vara en cuya punta fue colocada una horqueta con distintas aperturas. Con este dispositivo se midieron los diámetros de las ramas ordenándolos en tres clases de grosor. Las clases de ángulos de las ramas se estimaron por apreciación visual después de un previo entrenamiento del personal.

Este procedimiento fue igual en las mediciones del año 2013 y 2018, solo la vara usada en 2018 tenía que ser más larga (7 m). Eso se hizo necesario porque en esta fase fue preciso evaluar también el segundo trozo (entre las alturas de 3,8 y 7,4 m). También se decidió anotar si una rama estaba muerta o verde en el momento del levantamiento.

El criterio de excentricidad no se siguió midiendo ya que se mostró tan poco presente en el rodal que no se le atribuyó influencia en la futura utilización como trozos de aserrío.

La altura de los árboles se midió con el medidor de alturas Suunto en una sub muestra de 20 árboles por parcela, seleccionados al azar. Además se midieron árboles de control, volteados en el transcurso de los raleos. El volumen de los árboles fue estimado usando la siguiente ecuación, elaborada por Barría (1996) en un rodal roble-raulí de 16 años de edad.

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

Dado que esta ecuación ha sido desarrollada en un rodal mixto roble/raulí se estimó necesario comprobar su utilidad para el caso presente. Para eso se voltearon 25 árboles en un área adyacente a las parcelas tomando las respectivas medidas para determinar el factor de forma local (diámetro de punta = 7cm). De esta manera se podían utilizar alternativamente la ecuación de Barría y el factor de forma local para estimar los volúmenes y comparar los resultados.

Evaluación Económica y Cálculo de la Tasa de Retorno

Se hicieron los cálculos para estimar el futuro crecimiento del rodal con la finalidad de determinar la tasa de retorno de la inversión realizada en una plantación de roble en el Centro Sur de Chile de la índole aquí presentada. Para esto, los resultados sobre la productividad del rodal hasta la edad de 16 años (año 2018) fueron utilizados como base para estimar el futuro crecimiento hasta un DAP meta de 50 cm. En este cálculo, el incremento anual en altura fue continuamente reducido de 1 m a 0,5 m y el incremento diamétrico anual de 1.1 cm a 0,7 cm, basado en experiencias locales.

De este modo se encontró que el diámetro meta se alcanzaría a la edad de 55 años si, adicionalmente a los primeros dos raleos ejecutados, se realizan 3 raleos más. Como tasa anual de mortalidad se encontró un dato para renovales de roble de un 1% anual (Bahamondez, 1992). Se decidió reducir este valor al nivel de 0,5% dado que con el espaciamiento más amplio en plantaciones y ejecutando los primeros raleos muy tempranamente, la mortalidad debe ser considerablemente más baja que en una regeneración natural durante los primeros decenios.

Finalmente, se calculó el ingreso neto de la madera extraída durante los raleos y en la corta final. Como edades para los 5 raleos se consideró 15, 20, 27, 32 y 40 años y el número de árboles extraídos de 520, 306, 200, 134 y 99, respectivamente, hasta llegar a 143 árboles a la edad de 55 años.

En los sucesivos raleos de 1 a 5 las tasas de madera aserrable en las respectivas extracciones se calcularon según los límites diamétricos y calidad de los primeros dos trozos en 0%, 0%, 16%, 26% y 31%, respectivamente.

En la cosecha final este valor llegó a 32 %, es decir no sube mucho más, porque en este trabajo no se consideró un posible tercer trozo por árbol ya que fue imposible hacer estimaciones de valor acertadas más allá de 7,8 m de altura. En este sentido el valor de la cosecha final puede ser un poco subestimado.

Como precios de venta se consideró 51.250 Ch\$/m³ madera aserrable y 30.000 Ch\$/m³ de leña de acuerdo a lo realmente conseguido en el mercado. El valor del suelo se cotizó, como es estándar en bosque nativo en el Centro Sur de Chile, en 3.000.000 Ch\$/ha. Como costo de administración anual se tomó un valor de 29.500 Ch\$/ha.

Los costos del establecimiento de la plantación, incluido valor de las plantas y dos desmalezados, fue 1.100.000 Ch\$/ha. En los primeros dos raleos (solo leña) los costos del madereo se elevaron a 11.667 Ch\$/m³.

Los costos de cosecha, incluyendo la extracción de los raleos 3 a 5, y la cosecha final son el 44%, 37%, 35% y 32 % del ingreso bruto, respectivamente, y las dos podas cuestan solo 80.000 y 73.000 Ch\$/ha dada la muy buena poda natural que tiene el roble.

Todos estos valores entraron en la respectiva ecuación básica (Oesten und Roeder, 2008). Finalmente, la tasa de retorno fue determinado de forma iterativa para el caso que egresos fuera igual a ingresos (tasa efectiva de retorno). Como tasa de conversión CH\$ - US\$ se usó la relación 671 Ch\$ = 1 US\$.

RESULTADOS

Crecimiento entre los Años 2002 y 2013

Los parámetros de crecimiento, como número de árboles, altura media, DAP, Área Basal, factor de forma y volumen en pie de las parcelas P1 y P2 se presentan en el Cuadro N° 2. No se registraron diferencias significativas entre el desarrollo en altura ni en diámetro entre las parcelas P1 y P2 del ensayo (Figura N° 1a y N° 1b).

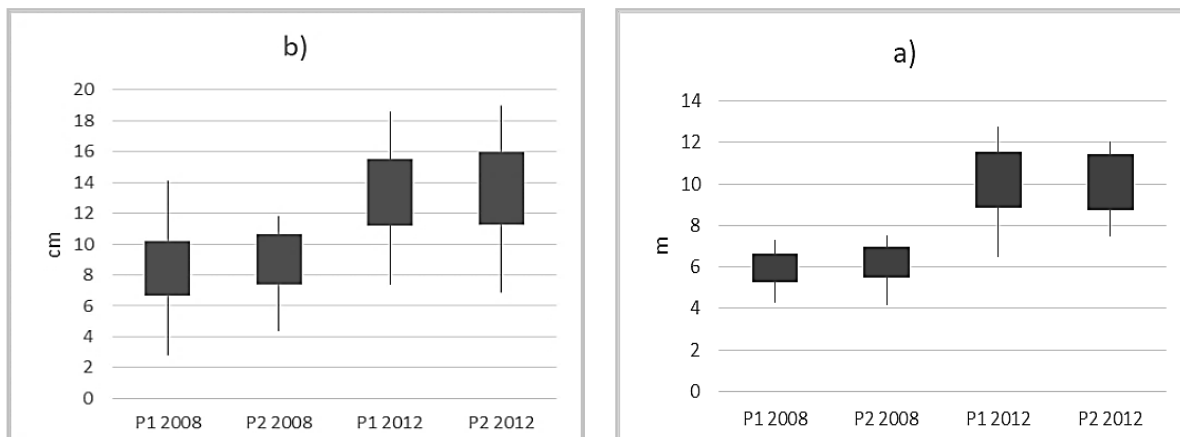
Cuadro N° 2
DATOS DASOMÉTRICOS DE PLANTACIÓN DE ROBLE EN EL CENTRO SUR DE CHILE
ENTRE SU ESTABLECIMIENTO Y LOS 18 AÑOS DE EDAD

Año	2002*	2008		2013				2018		
				AR		DR		AR		DR
Parcela		P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P2
N (árb/ha)	1.666	1.540	1.480	1.520	1.480	1.020	960	940	960	760
H _m (m)	0,7	6,0	6,2	10,2	10,1	10,5	10,8	17,5	17,2	17,4
DAP (cm)	1,5	8,4	9,0	13,4	13,6	13,3	14,1	18,7	18,7	19,1
AB (m ² /ha)		8,6	9,4	21,8	22,7	14,2	14,9	25,8	27,1	22,3
Fact. Forma				0,41	0,41	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46
Vol (m ³ /ha)**		23,6	26,6	91,2	94,0	72,4	72,4	207,4	214,4	178,5
Raleo (m ³ /ha)						22,8	21,6			35,9

*Establecimiento

**Barría, 1996 $LN(V) = -9,915425 + 0,939798 \times LN(H \times DBH^2)$

AR: Antes de raleo DR: Después de raleo



El boxplot representa desviación estándar arriba y debajo de la media.

Figura N° 1

DESARROLLO EN ALTURA (IZQ) Y DAP (DER) EN LAS PARCELAS 1 Y 2 ENTRE 2008 Y 2013

El volumen en pie con corteza fue calculado para todos los árboles con DAP > 7 cm en 2008 usando la mencionada ecuación de Barría (1996). La precisión de esta ecuación ha sido evaluada antes de las mediciones de 2018, usando el factor de forma local elaborado en el mismo ensayo.

Los valores de volumen en pie calculados para ambas parcelas usando el factor de forma local (P1 91,2 m³/ha; P2 94,0 m³/ha) son semejantes a los encontrados con la ecuación de Barría (90,8 y 92,0 m³/ha, respectivamente).

El incremento periódico anual (IPA) (>7cm) del rodal entre los 6 y 11 años es notable; en P1 alcanzó 13,52 m³/ha y en P2 13,48 m³/ha. El incremento anual en altura para el mismo período es 80 cm y el incremento del DAP 1,0 cm.

En el período de 11 a 16 años, el IPA subió a 27,9 (P1) y a 28,4 m³/ha (P2). Este incremento se debe a que en esta fase muchos árboles superaron el límite mínimo considerado para los cálculos de volumen (7 cm).

El volumen total acumulado sobre los 16 años de observación fue de 230,6 m³/ha (P1) y 238 m³/ha (P2). En base a estos valores el IMA a la edad de 18 años fue de 14,4 y 14,9 m³/ha, respectivamente. Como comparación, el IMA a la misma edad que se reporta en Chile para *Pinus radiata* son 21 m³/ha y para *Eucalyptus globulus* de 29 m³/ha (Espinosa *et al.*, 2017).

Crecimiento Después de Dos Raleos en la Parcela

El resultado del primer raleo en P2 en el año de 2013, el siguiente desarrollo en crecimiento hasta 2018 y el efecto del segundo raleo en 2018 se presentaron en el Cuadro N° 2.

En el raleo 1 el AB ha sido reducida de 22,7 a 14,9 m²/ha, el volumen extraído fue 21,6 m³/ha. El volumen remanente del rodal después del raleo y 11 años después de su establecimiento fue 72,4 m³/ha. Después de esta intervención, en el quinquenio de 2013 a 2018, el AB del rodal aumentó por 12,2 m²/ha hasta alcanzar 27,1 m²/ha.

El factor de forma de los árboles antes de la segunda intervención fue calculado en 0,46 y el volumen en pie en este momento fue de 214.4 m³/ha.

En el segundo raleo en 2018 se extrajeron 200 árboles de menor calidad. Mediante esta intervención el AB bajó al nivel de 22,3 m²/ha y el volumen en pie a 178,5 m³/ha.

Evaluación de la Calidad de los Fustes en 2008, 2013 y 2018

La evaluación cualitativa del rodal en 2008 fue algo complicada, ya que fue difícil juzgar si los árboles en las parcelas formaron una verdadera bifurcación debajo de los 3,8 m de altura fustal (20 cm altura de tronco más 3,60 m largo del primer trozo).

En esta fase temprana de desarrollo fue difícil predecir si una de dos flechas terminales, de largo igual, que muestran algunos árboles iba a ser en el futuro la flecha apical dominante o si las dos flechas seguirían con igual crecimiento, formando una duradera bifurcación.

Debido a esta inseguridad 36 de los 77 árboles en la parcela 1, y 26 de los 74 de la parcela 2 fueron calificados como “con bifurcación”.

En 2013 solo 2 árboles en P1 y 8 árboles en P2 habían seguido con este defecto. En muchos casos en que se había registrado una bifurcación en 2008, una de las dos flechas había tomado el liderazgo cinco años después.

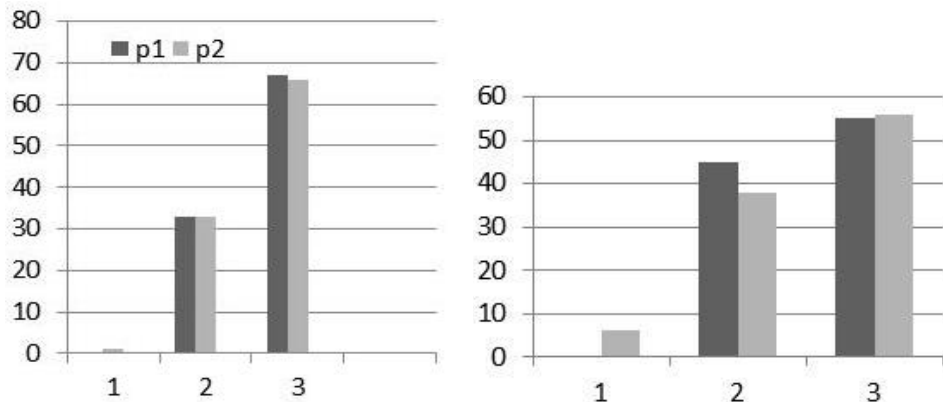
Como los criterios en la matriz tienen una ponderación diferente, en el caso de las bifurcaciones, por ejemplo, cada árbol que muestra este defecto, automáticamente pasa a ser excluido de un uso como madera aserrada. Por esto no tiene sentido aplicar este criterio en una fase tan temprana (Hm = 6 m).

Otras características como “daños”, “rectitud” y forma comprobaron ser bastante constantes durante los primeros 5 años.

Otro punto problemático fue la calificación al grado 1 de calidad como promedio de todas las notas recibidas, el que ha sido atribuido a 7 árboles en la evaluación de 2008 y a solo 1 en 2013. En una fase muy joven del árbol fue simplemente imposible distinguir si el respectivo trozo en el futuro llegaría a la calidad aserrable o a una calidad más noble como chapas.

De todos los fustes clasificados, un 67% (P1) y 66,2% (P2) recibieron el grado más malo, es decir Grado 3. Estos resultados, que a primera vista parecen insatisfactorios, suelen mejorarse con los raleos. Este efecto se puede apreciar al comparar las Figuras N° 2a y N° 2b.

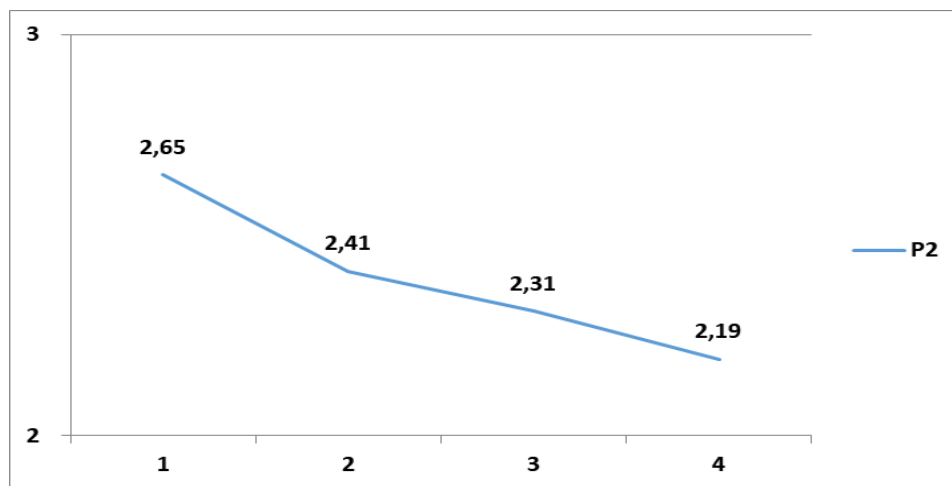
En las figuras se pueden ver los porcentajes de árboles con grado 1 (mejor calidad), grado 2 (utilizable como madera aserrada) y grado 3 (leña o madera industrial) antes y después del primer raleo. A la edad de once años esta calificación se refiere solamente a los primeros 3,6 m del fuste (primer trozo).



Clasificación expresada como porcentajes de árboles que recibieron grado 1 (mejor calidad), grado 2 (madera aserrable) y grado 3 (leña).

Figura N° 2
CLASIFICACIÓN SEGÚN CALIDAD EN LAS PARCELAS 1 Y 2
ANTES DEL PRIMER RALEO (IZQ) Y DESPUÉS DE ESTE (DER)

El segundo raleo, 16 años después del establecimiento, se realizó solo en la parcela 2. La Figura N° 3 muestra el mejoramiento de la calidad fustal por este raleo. El grado medio de calidad se mejoró de grado 2.65 a 2,19 por los dos subsiguientes raleos.



Medición 1: 2013 antes del primer raleo; Medición 2: 2013 después del primer raleo, Medición 3: 2018 antes del segundo raleo; Medición 4: 2018 después del segundo raleo. Grado 3 = leña; Grado 2 madera aserrada en el primer trozo. Eje Y: Grados de calidad; Eje X: Mediciones.

Figura N° 3
MEJORAMIENTO EN EL GRADO DE CALIDAD EN LA PARCELA 2 DE 2,65 HACIA EL GRADO 2

Basado en la evaluación de 2018, se puede predecir que a la edad de 26 años, de los 760 árb/ha 580 van a contar con un primer trozo de calidad aserrable por haber alcanzado el

diámetro mínimo requerido de 24 cm cc a la punta. Los restantes 180 árboles de menor calidad, más algunos de posición dominada, pueden ser removidos en el 3. raleo que tendrá lugar a esta altura del desarrollo. A partir de este momento todos los árboles remanentes del rodal poseerán por lo menos un trozo de calidad aserrable.

En la evaluación del año 2018 se podía perseguir una segunda meta: El análisis cualitativo del segundo trozo (3,8 – 7,4 m sobre suelo y diámetro mínimo de 24 cm a la punta) con el fin de cuantificar los árboles con 2 trozos continuos de madera aserrable.

En esta evaluación se consideraron los criterios rectitud, bifurcaciones, tal como diámetro y ángulos de las ramas. En esta oportunidad, ramas vivas fueron calificadas más negativas que ramas muertas. En la zona de contacto de las ramas muertas el tejido de cicatrización ya se había formado en parte.

El resultado del pronóstico fue que 53 % de los árboles en la parcela 1, donde no se había ejecutado un segundo raleo, alcanzarían esta meta, debido a fallas excluyentes en casi la mitad de los árboles.. En la parcela 2, donde se había ejecutado un segundo raleo el 71% de los árboles podrían alcanzar esta meta.

Tasa de Retorno Esperada

Las proyecciones de costos y rendimiento financiero del manejo del rodal de roble de este estudio, calculados según los montos y valores usuales en Chile, se presentan en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
MODELO DE MANEJO PARA UNA FORESTACIÓN CON ROBLE
DESDE SU ESTABLECIMIENTO HASTA LA COSECHA FINAL

	Edad (años)	Número Árboles				Vol Vendido (m ³ /ha)	Costos	Venta Vol (US\$/ha)	Ingreso Neto
		Inicial	Mortalidad	Estraídos	Remanentes				
		(árb/ha)							
Establ.	0	1.666				1.642			
Raleo 1	15		186	520	960	18,7	325	837	512
Poda 1	14					(119)			
Poda 2	17					(109)			
Raleo 2	20		24	306	630	52,5	913	2.347	1.434
Raleo 3	27		34	200	408	95,7	2.085	4.738	2.653
Raleo 4	32		16	134	264	129,0	2.547	6.855	4.308
Raleo 5	40		11	99	154	151,0	2.954	8.337	5.383
Cosecha	55		12	143		452,0	8.024	25.047	17.023

Al incorporar los valores del Cuadro N° 3 a la ecuación básica de equilibrio (Oesten y Roeder, 2008) para predecir la tasa de retorno en el caso de la inversión hecha bajo iguales condiciones, se supone que no se realiza una poda artificial.

Bajo esta suposición, la tasa de retorno llega exactamente a 4%. Roble tiene la característica de una muy buena poda natural y por esto no se considera necesaria una poda artificial como parte del manejo. En caso que se insista en esta intervención, la tasa de retorno baja ligeramente a 3,9 %.

DISCUSIÓN

El comportamiento en crecimiento ha sido muy similar entre las dos parcelas observadas. Para comparar los datos con otros estudios, se encontraron en la literatura pertinente dos ejemplos de plantaciones con roble en el Centro Sur de Chile, con similares condiciones de sitio (Donoso *et al.*, 1993). En el Cuadro N° 4 se muestra una comparación de los resultados de este estudio (Millahue) con los dos rodales (Palguin y Arquihue) de estos autores.

Cuadro N° 4
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CRECIMIENTO DE MILLAHUE
CON LOS DE PALGUIN Y ARQUILHUE

Lugar	Área (ha)	Edad (años)	N (árb/ha)	H (m)	DAP (cm)	AB (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/año)
Palguin	2	14	1.440	14,5	13,2	24,6	174,9	12,5
Arquihue	27	15	738	14,8	14,8	25,2	170,0	10,6
Millahue	2	16	950	17,4	18,7	26,5	211,1	14,6*

*Promedio de las dos parcelas

Al comparar los volúmenes en pie se debe notar que antes de las mediciones en los rodales 1 y 2 no se había hecho ningún raleo. Además el 30 % de los árboles en el sitio Arquihue corresponden a raulí, que tiene un crecimiento algo inferior al roble. Los valores de aquel rodal han sido acomodados utilizando los datos de roble, que se reportaron por separado, para remplazar los del raulí. Los resultados de Millahue reflejan el promedio de las dos parcelas de muestreo. Además, se sumó a este valor la extracción que se había hecho en el raleo.

Se encontró que el crecimiento del rodal Millahue es solo ligeramente más alto que los crecimientos reportados por Donoso *et al.* (1993). Podrían haber sido aún más similares si los sitios 1 y 2 hubieran sido raleados a la misma edad que las parcelas en Millahue. Resumiendo, se puede decir que el crecimiento en las parcelas observadas en este trabajo no es único o excepcional sino representa bien lo que se puede esperar de tales plantaciones en sitios de esta zona de crecimiento dentro de Chile.

Al revisar los crecimientos de bosques secundarios de roble de regeneración natural (renovales), se aprecia que estos rodales tienen un crecimiento inferior y un número de árboles mucho más alto en las fases de desarrollo que se está tratando en este trabajo.

En Chile, hasta el año 2008 (Ley 20.283) casi no se han practicado raleos en renovales antes de llegar a la edad de 40 años. Como ejemplo para esta falta de manejo se presentan 2 renovales de roble situados en el mismo predio Millahue. Tenían edades de 40 y 44 años y no

habían sido raleados, cuando fueron medidos (Pinilla, 2004), la densidad aún estaba a un nivel de 1240 árboles (promedio de los dos rodales), con un DAP de 21 cm, mientras que la plantación objeto del presente estudio ya había alcanzado 18,7 cm a la edad de 18 años. Su volumen en pie, sin embargo, fue de 395 m³/ha debido al alto número de árboles.

Con los datos de estos dos renovales se alimentó un simulador de crecimiento, desarrollado por Ortega y Gezan (1998), con el resultado de que el árbol promedio al fin de una rotación de 60 años alcanzaría un DAP de solo 31 cm, aunque se opte por un modelo de manejo con 4 raleos antes de la edad de 55 años.

De esto, se puede concluir que al establecer plantaciones de roble, en vez de trabajar con regeneración natural, se puede acortar el período de rotación en alrededor de 20 años. Esto también se cumple si los raleos fueran realizados antes de la edad de 40. Un rodal de roble, originado de un proceso de regeneración natural, suele sufrir un estancamiento en su crecimiento durante los primeros 20 años, debido a su “sobre densidad” en la fase de brinzal y latizal joven, y no puede compensar este atraso hasta la edad de 55 o 60 años para ir a la par con una plantación con 1600 árb/ha de la misma especie.

Si se compara el crecimiento de una plantación de roble, tal como la descrita en este estudio, con valores que arrojan tablas de rendimiento para especies latifoliadas en Alemania, las cifras provenientes de Chile se calificarían de espectaculares. Con la excepción de una especie de álamo (*Populus x candensis Marilandica*) en el Sur Oeste de aquel país, todas las latifoliadas ahí reportadas muestran un crecimiento lejano a compararse con roble en Chile. Incluso, el ya mencionado álamo muestra un atraso de 5 años frente a la especie chilena en esta comparación (Schober, 1979).

Varias publicaciones forestales en Europa tratan sobre el desarrollo en calidad de especies latifoliadas dan consejos referentes a métodos adecuados para evaluarlas. Estas publicaciones están enfocadas sobre todo en haya (*Fagus sylvatica* L.), una especie muy tolerante.

El método usado en el presente trabajo es muy parecido al método estandarizado que propone la “Arbeitsgruppe für Qualitätsansprache” (grupo de trabajo para evaluación cualitativa) en la Sección de Silvicultura dentro de la “Asociación Alemana de Instituciones que realizan Investigación Forestal, (DVFFA, su sigla en alemán) (Börner *et al.*, 2002). El método propuesto se basa en los mismos criterios de calidad exterior, como son la forma del fuste, las bifurcaciones y diámetros y el ángulo de las ramas. Además consideran ramas epicórmicas como un criterio más, posiblemente para incluir las especies del género *Quercus* que tienen esta tendencia (Göckel, 1994).

El presente estudio, en su inicio, evaluó también el criterio de la excentricidad, pero en el transcurso de las observaciones se decidió dejar de lado este punto, ya que la poca excentricidad que se encontró no aplica en la gran mayoría de los usos en Chile.

Contrariamente a los estudios de Europa, la evaluación cualitativa del rodal de roble aquí presentada es más orientada hacia las necesidades que tiene el comercio maderero, siguiendo, paso por paso, la utilidad del primer y después del segundo trozo, cada uno de 3,60 m de largo dentro de los primeros 20 años de edad. Este procedimiento no puede aplicarse de igual forma con en haya, ya que esta especie crece tan lentamente que predicciones aplicadas al futuro uso se pueden hacer solo a partir de una edad de treinta años (Weidig *et al.*, 2014). Además, en esta especie la calidad de los fustes depende estrechamente de las condiciones luminosas en que se desarrolla durante su juventud, ya que como especie de sombra reduce notablemente su crecimiento en altura y su calidad fustal cuando el ISF (porcentaje de la luz indirecta en el exterior

que llega al piso forestal) sea más alto que 30 %, como reporta Bednar (2016) en un estudio realizado en la República Checa.

Esto lleva a malos resultados en plantaciones de haya realizadas a la plena luz. El contrario se da con roble como especie de muy alta demanda de luz, que muestra mejor crecimiento en altura y un desarrollo cualitativo más alto con altas intensidades de luz. Se encontró, también, que la evaluación realizada a la edad de 11 años se mantuvo constante hasta la siguiente, 5 años más tarde.

De esta manera se concluye que al fin del primer tercio del tiempo de la rotación de una plantación de roble ya es posible hacer predicciones acertadas sobre cuáles de los árboles hay que eliminar en los raleos y cuál va a ser el efecto sobre el desarrollo en calidad del futuro rodal. Así es que una predicción del ingreso neto y del retorno financiero tiene sentido ya en una fase temprana.

Si se quiere comparar esta plantación con coníferas de rápido crecimiento, la opción roble no queda tan atrás como generalmente se supone: En 16 años esta última alcanza alrededor del 70% del volumen que normalmente se acumula en plantaciones de *Pinus radiata* de la misma edad.

El pino radiata muchas veces termina en una tala rasa a la edad de 20 años, produciendo solo madera industrial. En términos de calidad, la plantación de roble en los raleos 3, 4, 5 y en la cosecha final a la edad de 55 años, ofrece en cantidad ascendente desde 15 a 40% de su producción maderera en forma de trozos aserrables o incluso de una calidad más noble. Además, bosques de roble son ambientalmente más benéficos (proporción más alta de las precipitaciones que llegan al suelo, mejor descomposición de su hojarasca) y presentan un riesgo menor que los bosque de coníferas en el contexto de incendios. En eso se fundamenta la prohibición de una sustitución de roble por especies introducidas de rápido crecimiento.

Así, bajo el imperativo legal de seguir con especies nativas en áreas de bosque nativo, la plantación de roble o mezclas roble/raulí se considera una buena inversión con tasas de retorno interesantes, sobre todo si se compara a nivel internacional.

REFERENCIAS

Agromet, 2018. Red Agroclimática Nacional <https://www.agromet.cl/datos-historicos>

Bahamondez, C., 1992. Investigación sobre un modelo de simulación para renovales de roble-raulí. Proceedings IUFRO Congress, Valdivia.

Barría, P., 1996. Comparación de la estructura y crecimiento de una plantación de roble-raulí con una de roble-laurel-ulmo en la Provincia de Valdivia. Tesis Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal, Valdivia/Chile.

Bednar, P., 2016. Secondary monocultures of Norway Spruce (*Picea abies* L.): Transformation and conversión processes and the subsequent changes within the forest stand. Diss. Mendelova Univerzita v Brne, Lesnická a Drevarská Fakulta (Universidad Mendel en Brunn, (República Checa).

Börner, M.; Guericke, M.; Leder, B.; Nutto, F.; Stähr, F. und Weinreich, A., 2002. Erhebung qualitätsrelevanter Parameter am Einzelbaum: Aufnahmestandards für junge bis mittelalte Laubhölzer als Grundlage für wissenschaftliche Untersuchungen. Arbeitsgruppe "Qualitätsansprache" Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten.

Donoso, P.; Monfil, T.; Otero, L. y Barrales, L., 1993. Estudio de crecimiento de plantaciones y renovales

manejados de especies nativas en el área andina de las Provincias Cautín y Valdivia. Ciencias e Investigación 7 (2) 255-287

Espinosa, M.; García, J. y Peña, E., 1988. Evaluación de crecimiento de una plantación de Raulí (*Nothofagus alpina*) a los 34 años de edad. Agrociencia 4 (1): 57-64

Espinosa, M.; Acuña, E.; García, J.; Rodríguez, R. y Rubilar, R. (Eds.), 2017. Silvicultura de bosques plantados con fines productivos. Editorial Universidad de Concepción, p.21-22

Göckel, H. A., 1994. Soziale und qualitative Entwicklung sowie Z-Baum-Häufigkeit in Eichenjungbeständen. Die Entwicklung eines neuen Pflanzschemas: Die Trupppflanzung. Diss. Universität Göttingen, 167 S.

Grosse, H., 1987. Desarrollo inicial de plantaciones de Raulí. Ciencia e Investigación Forestal 1: 49-56

Leonhardt, B. und Wagner, S., 2006. Qualitative Entwicklung von Buchen-Voranbauten unter Fichtenschirm FoHo 84 454-457.

Linnert, M., 2009. Wachstum und Qualität junger Buchen in einem unterschiedlich aufgelichteten Fichten-Altbestand. Dissertation Göttinger Forstwissenschaften, 127 pp.

Müller-Using, B., Wienstroer, M. und Siebert, H., 2005. Zur Konkurrenzfrage zwischen drei Arten der Baumgattung *Nothofagus* sowie der Küstendouglasie in Mischbeständen des Dickungs- bzw. Stangenholzalters im vorandinen Hügelland der Provinz Valdivia/Chile. En: Ammer, Ch. Schölch, M. und Mosandl, R. (Hrsg.) Der Beitrag des Waldbaus zur Mischwaldforschung. Beiträge zur Jahrestagung der Sektion Waldbau. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA), Freising, Germany.

Oesten, G. und Roeder, A., 2008. Management von Forstbetrieben Bd. 1 p.209-211.

Ortega, A. y Gezan, S., 1998. Relación entre variables silviculturales y modelamiento en renovales de *Nothofagus*: Una propuesta. Primer Congreso Latinoamericano de IUFRO: El manejo sustentable de los recursos forestales, desafío del siglo XXI, Valdivia/Chile

Pinilla, A., 2004. Propuesta y evaluación de esquemas silviculturales a nivel predial para renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) ubicados en la Comuna de Panguipulli Tesis de grado Universidad Austral de Chile, Valdivia/Chile

Teisser du Cros, E. and Thiebault, B., 1988. Variability in Beech: Budding height growth and tree form. Annals of forest Science 45(4) p.389

Schober, R. (Hrsg.), 1979. Ertragstabeln wichtiger Baumarten. 2. Aufl. J.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.

Weidig, J.; Wagner, S. und Huth, F., 2014. Qualitätsentwicklung von Buchen-Voranbauten (*Fagus sylvatica* L.) im Thüringer Wald nach unplanmäßigem sturmbedingtem Verlust des Fichtenschirms. Forstarchiv 85 S. 122-133.

Wienstroer, M.; Siebert, H. und Müller-Using, B., 2003. Competencia entre tres especies de *Nothofagus* y *Pseudotsuga menziesii* en plantaciones mixtas jóvenes, establecidas en la pre cordillera andina de Valdivia. Bosque 24 (3) 17-38.

