



ARTÍCULO

Propuesta para la definición de un diámetro meta para los árboles futuro en renovales de roble (*Nothofagus obliqua*).

Sabine Müller-Using^{1*}, Yasna Rojas², Marjorie Martin³

¹Dr. Instituto Forestal, Valdivia, Chile. smuller@infor.cl

²Dr. Instituto Forestal, Valdivia, Chile. yrojas@infor.cl

³Ing. Forestal. Instituto Forestal, Valdivia, Chile. mmartin@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.553>

Recibido: 21.12.2021; Aceptado 27.12.2021

RESUMEN

Los bosques de roble (*Nothofagus obliqua*), en el centro sur de Chile, constituyen masas forestales relativamente homogéneas, de fácil acceso, de buen crecimiento y madera de valor, razón por la cual son frecuentemente manejados con los incentivos mediante la ley de bosque nativo. El sistema silvícola que se ha implementado en estos bosques, por sobre otros métodos, es el del manejo de árbol futuro. En el presente estudio se entrega una propuesta para la decisión del momento de cosecha, a través de la definición de un diámetro meta para los árboles futuro que permita optimizar el beneficio económico. La metodología ocupada se basa en un modelo de cálculo de rentabilidad que propone que los ingresos adicionales por la madera, que se producen por el crecimiento del árbol, deben compararse con el interés adicional de esperar año a año para alcanzar un diámetro meta. Se aplicó este método en dos rodales de roble de la región de Los Ríos. Los resultados mostraron que el diámetro meta puede variar entre 34 y 46 cm, según la tasa de rentabilidad esperada y la condición inicial del rodal, expresada en la distribución diamétrica de los árboles futuro. Entre más alta era la rentabilidad esperada, más bajo el diámetro meta.

Palabras clave: Roble, *Nothofagus obliqua*, cosecha, diámetro meta, rentabilidad

SUMMARY

Nothofagus obliqua forests in south-central Chile are relatively homogeneous forest stands, easy to access, with good growth and valuable timber, which is why they are often managed with incentives through the native forest law. The silvicultural system that has been implemented in these forests, over other methods, is the future tree management. This study provides a proposal for deciding the time of harvest, through the definition of a target diameter for future trees to optimize the economic benefit. The methodology used is based on a profitability calculation model that proposes that the additional income from timber, which is produced by the growth of the tree, should be compared with the additional interest of waiting year to year to reach a target diameter. This method was applied in two *Nothofagus obliqua* dominated stands in the Los Rios region. The results showed that the target diameter can vary between 34 and 46 cm, depending on the expected rate of return and the initial condition of the stand, expressed in the diameter distribution of the future trees. The higher the expected profitability, the lower the target diameter.

Keywords: *Nothofagus obliqua*, harvesting, target diameter, rentability.

INTRODUCCIÓN

Los bosques del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue constituyen masas forestales relativamente homogéneas, de fácil acceso y compuestas por especies de buen crecimiento y madera de valor, razón por la cual actualmente son las formaciones con mayor superficie manejada con los incentivos mediante la ley de bosque nativo (Müller-Using, 2020b). Hoy, parte de este recurso se encuentra en un estado donde la medida silvícola indicada es la cosecha y regeneración, sea porque el bosque se encuentre maduro o porque su condición es de muy baja densidad o calidad y requiera una renovación para mejorar la masa forestal (Araya, 2011; Müller-Using *et al.*, 2012).

En Chile el manejo de los bosques naturales ha sido fuertemente influenciado por la asistencia técnica recibida a través de CONAF, y por el apoyo de las agencias alemanas DED, GTZ y KFW. Entre los años

1997 y 2006 este trabajo colaborativo puso su foco en el manejo de renovales, con un gran énfasis en la extensión forestal hacia pequeños y medianos productores (Lara *et al.*, 2010). El sistema silvícola que se ha implementado en esos años por sobre otros métodos, es el del manejo de árbol futuro. Esta experiencia aún sirve como base para el acompañamiento de los programas de manejo asociados a la hoy vigente Ley N° 20.283 para la recuperación y manejo del bosque nativo (MINAGRI, 2008). Hasta la fecha las bonificaciones de esta ley se han concentrado en las cortas intermedias o raleos (SIMEF, 2021). A modo referencial, el presupuesto del Fondo de Conservación, Recuperación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo en el año 2021 cuenta con M\$ 3.021.705 con la meta de bonificar a 600 proyectos (DIPRES, 2021).

Los raleos, cuando son actividades silvícolas dirigidas a la producción de madera, representan inversiones para la calidad futura y el valor comercial de la madera al momento de la cosecha. Dados los largos plazos de la producción forestal, las proyecciones económicas en las cuales se basa esta inversión tienen un alto grado de incertidumbre. Aun cuando en los renovales no ha habido una inversión inicial de plantación que requiera capitalizarse, la rentabilidad del manejo (clareos y raleos) es determinante en la decisión del momento de la cosecha y regeneración del bosque. Considerando que los raleos se financien a través de la madera que arrojan, la inversión realizada consiste en el costo de oportunidad de no cosechar aún los árboles futuro y dejarlos crecer. Si se cosecharan y se invirtieran los ingresos en otra instancia (por ejemplo, en una cuenta bancaria al 2%, en acciones al 4% o en futuros al 6%), esto no debería ser más rentable que dejar que los árboles crezcan hasta un diámetro por determinar. Esta comparación es válida en la medida en que las otras alternativas impliquen el mismo riesgo que dejar los árboles crecer.

Específicamente, en el sistema silvícola del árbol futuro se busca acumular en pocos árboles de gran valor el volumen de madera posible de producir en un área definida, en un período de tiempo acotado. Para ello se definen tempranamente los árboles que llegarían al final de la vida del rodal, lo que se hace en función de su vitalidad, sanidad y forma (Grosse & Quiroz, 1999). Económicamente esto tiene un riesgo, por el incierto comportamiento en crecimiento y sanidad que los árboles elegidos puedan desarrollar a futuro. El riesgo se reduce a través de un especial cuidado y liberación periódica de los árboles, fomentando así un óptimo desarrollo.

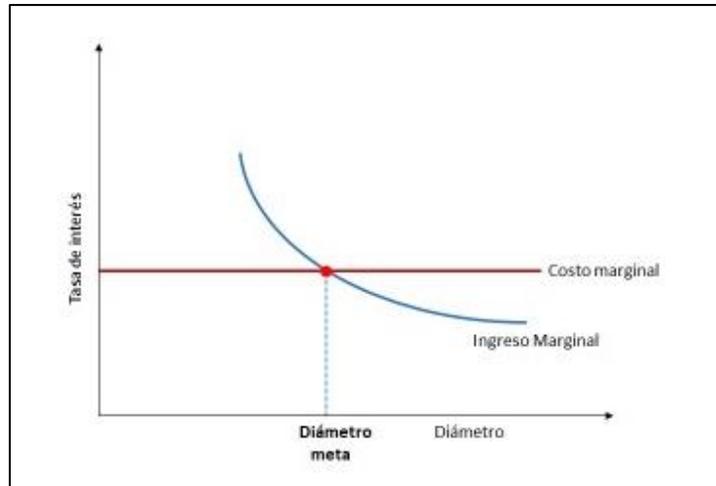
En esta lógica, la presente propuesta define la decisión de la cosecha en base a esta cohorte de árboles, tempranamente seleccionados y beneficiados a través del manejo, como portadores del valor del rodal. Pero ¿cuál es el diámetro que debieran alcanzar estos árboles para optimizar el beneficio económico que puedan generar?

Al respecto, se presenta una metodología para definir el diámetro meta de los árboles futuro de un rodal en base a parámetros económicos. Ésta se basa en los datos de crecimiento de los 20 rodales manejados a través del raleo de árbol futuro publicados por Pilquinao *et al.* (2020). La contribución consiste en una proyección del incremento en valor, y la predicción del momento oportuno de cosecha y regeneración, basado en la rentabilidad de los estos árboles futuro. Esta propuesta metodológica está concebida como una herramienta de toma de decisión para la gestión de propietarios y silvicultores.

El trabajo se plantea como el desarrollo metodológico para generar un criterio de decisión de cortar o mantener creciendo a los árboles futuros del rodal. La decisión de corta supondrá entonces el iniciar la fase de regeneración. Por lo tanto, el énfasis se centra en el método de cálculo y se agrega, a modo de ejemplo, su aplicación a casos concretos. La propuesta está enfocada en bosques secundarios de roble (*Nothofagus obliqua*) en las regiones de Los Ríos y La Araucanía.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología ocupada en este estudio para la definición de un diámetro meta se basa en el modelo de cálculo de rentabilidad de Thünen (1826) que propone que los ingresos adicionales por la madera que se producen por el crecimiento del árbol deben compararse con el interés adicional de esperar año a año para alcanzar un diámetro meta. De manera equivalente, si el porcentaje de crecimiento en valor es menor que la tasa de interés, entonces se ha alcanzado el diámetro objetivo (Figura 1). Es importante considerar que en este método se considera que solo el capital es escaso, no así la tierra.



(Fuente: Thünen, 1826)

Figura 1. Expresión gráfica del modelo de rentabilidad para el diámetro meta.

El mismo método fue aplicado por Duerr *et al.* (1956) detallando los siguientes pasos:

- Calcular el valor actual de la madera en pie de un árbol en base a productos a obtener
- Determinar el valor de la madera en pie en diámetros futuros del árbol
- Determinar la tasa de interés deseada.
- Comparar el ingreso marginal del valor de madera con el costo marginal (costo de oportunidad del capital).

A continuación, se detalla cómo se ha aplicado esta metodología para abordar la oportunidad de cosecha y regeneración de bosques secundarios de roble en las regiones de Los Ríos y La Araucanía.

Área de Estudio

La información del estudio proviene del área ubicada entre la depresión intermedia y precordillera de los Andes de las Regiones de La Araucanía y Los Ríos, entre los 39°07'53" y los 40°11'57" de Latitud Sur y los 72°51'46" y 72°00'37" de longitud Oeste y a una altitud entre los 80 y 720 msnm. El área presenta un clima templado lluvioso (Veblen *et al.*, 1981), caracterizado por temperaturas moderadas y altas precipitaciones anuales que oscilan entre los 1.500 y 3.000 mm. Los suelos se caracterizan por su origen de cenizas volcánicas recientes, comúnmente llamados trumaos, y que corresponden a suelos profundos y de buen drenaje (Peralta, 1976). Todas estas características determinan una zona de buen crecimiento para roble (Donoso *et al.*, 1993).

Datos

Los datos agregados a nivel de rodal, así como de los árboles en categoría de futuro y las funciones de crecimiento se basan en datos levantados y publicados por Pilquinao *et al.* (2020), los cuales provienen de un muestreo en el año 2019 de rodales manejados con fines comerciales. En cada uno de los rodales se estableció un conglomerado compuesto por tres parcelas circulares de 500 m². Se registró las siguientes variables de estado de los árboles individuales: especie, DAP, altura total, altura comienzo de copa, diámetro de copas, posición en el dosel, estado sanitario y forma de fuste; se identificó a los árboles con potencial futuro considerando las siguientes características: recto, sano, buena calidad, con potencial maderero y pertenecer al dosel superior. Esta cohorte se identificó como los árboles futuro, objetos del presente estudio. Para ellos se determinó el crecimiento a través de la extracción de tarugos de diez individuos pertenecientes al estrato superior de cada rodal. Si bien en los rodales analizados se encontraban diversas especies tolerantes y semitolerantes acompañando a la especie principal roble, para efectos de este estudio se consideró solo robles como árboles futuro y los datos de crecimiento se refieren solo a esta especie.

La función de crecimiento en dap fue construida sobre la base de los 195 árboles cuyos tarugos estuvieron en condición adecuada para su medición. La siguiente figura muestra la distribución diamétrica de esta base muestral.

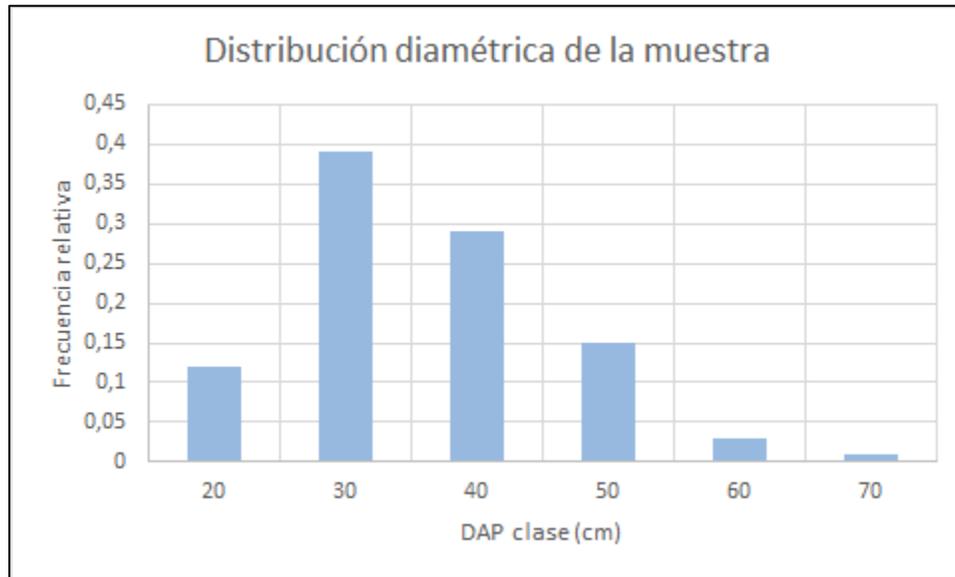


Figura 2: Frecuencia Relativa de la muestra de árboles tarugados por rangos de clase de diamétrica.

En cuanto a los datos utilizados para la evaluación económica, específicamente la información sobre precios y productos se basa en la publicación de Martín *et al.* (2020).

Proyección de los Árboles Futuro

Para los casos presentados como ejemplo, se construyó funciones de altura en función del dap, funciones de crecimiento en diámetro de acuerdo a los resultados del análisis de los datos de tarugo de incremento, y la selección de un modelo de volumen de árbol individual. Con estas funciones fue posible proyectar el crecimiento en volumen de los árboles.

La función de crecimiento en DAP se obtuvo de los datos levantados en terreno por Pilquinao *et al.* (2020) en conjuntos con datos del IFN; las funciones de Altura total y del DAP sin corteza también provienen del trabajo de Pilquinao *et al.* (2020); la función de ahusamiento corresponde a la propuesta por Kahler (1993).

-Función de Crecimiento en DAP:

$$\Delta DAP = 0,00000054 * dap^3 - 0,000174 * (dap^2) + 0,01 * dap + 0,3 \quad , \text{ con } R^2 \text{ Aj} = 0,85 \quad (1)$$

-Función de la altura total:

$$H = \exp(3,8157 + (-13,532/dap) + (-34,001 * (1/dap)^2)), \text{ RMSE: } 1,41 \quad (2)$$

$$H = \exp(3,455 + (3,5926/dap) + (-172,36 * (1/dap)^2)), \text{ RMSE: } 1,82 \quad (3)$$

-Función de DAP sin corteza:

$$D = 0,9403 * dap \quad (4)$$

-Función de Ahusamiento:

$$d/D = 1,56139 * ((H-h)/(H-1,3)) - 2,84647 * ((H-h)/(H-1,3))^4 + 2,33654 * ((H-h)/(H-1,3))^5 \quad (5)$$

Donde;

- D: dap del árbol sin corteza (cm)
- dap: dap del árbol con corteza (cm)
- d: diámetro del árbol sin corteza a la altura h (cm)
- h: altura de medición correspondiente, con h >0,3 m (m)
- H: Altura total (m)

Se generó las tablas de rodal en clases de un cm, y se proyectó el crecimiento por 30 años con las funciones antes mencionadas. La cubicación de las trozas se realizó por Smalian, se acumuló los volúmenes por tipo de productos y se generó las tablas de productos proyectadas.

Proyección de Productos de los Árboles Futuro

En un paso posterior, se realizó una aproximación a los productos madereros que actualmente se podían obtener a partir de los árboles futuro y su proyección en relación al crecimiento del rodal para un período de 30 años. Para ello se aplicó un esquema de trozado para un árbol tipo por cada clase diamétrica. El trozado se realizó según los productos y dimensiones de la Tabla 1.

Supuestos de Proyección de Rentabilidad

Definición de productos y precios

Se estableció los precios y costos de los productos de acuerdo la información de mercado que se encuentra en el año de la evaluación (Cuadro 1). Como tasa de interés para la evaluación se usó un rango de tres tasas de interés, 6%, 4% y 2%.

Cuadro 1. Características de productos esperados, precios y costos

Producto*	Nomenclatura	Diámetro mínimo (cm)	Largo (m)	Precios puesto en predio	Costos ** (\$/m ³)
Troz aserrables de alto valor	P1	> 34	3,60	55.000 \$/m ³	25.200
Troz aserrables de bajo valor	P2	> 34	2,60	42.000 \$/m ³	25.200
Trozas cortas aserrables	P3	> 20	2,44	29.000 \$/MR	10.000
Trozas pulpables	P4	> 10	2,44	25.000 \$/MR	10.000
Leña	P5	> 5	1,00	18.000 \$/m	13.500

* La definición de productos proviene del Estudio de disponibilidad futura de renovales de Ro-Ra-Co (Martin et al., 2020)

** Los costos corresponden a costos de volteo, maderero, fajas y caminos; los precios son para productos puestos en predio. La información proviene de encuestas a propietarios forestales de la región de Los Ríos.

Procedimiento Metodológico

Para cada año de evaluación se calculó el ingreso neto correspondiente a la expresión 6.

$$I_{neto} = \sum_{p=1}^5 I - \sum_{p=1}^5 C \tag{6}$$

Donde:

- I : Ingresos, para cada tipo de producto (P1-P5)
- C: costos para cada tipo de producto (P1-P5)

En cada año de la evaluación se evaluó la decisión de esperar que el diámetro de los árboles futuros crezca un centímetro más, lo que de acuerdo a la función de proyección empleada en este trabajo equivale a esperar dos años. Luego se comparó el ingreso neto marginal de esperar estos dos años (ingreso marginal) con el costo de oportunidad del capital a determinada tasa de interés de acuerdo a:

$$I_M = I_{netof} - I_{netoa}$$

$$C_M = (I_{netoa} * (1 + i)^{(f-a)}) - I_{netoa}$$

Si $I_M > C_M$ decisión de mantener creciendo

Si $I_M < C_M$ decisión de cortar

Donde:

- I_M : Ingreso Marginal;
- $I_{neto f}$: Ingreso neto año futuro;
- $I_{neto a}$: Ingreso neto año actual;
- C_M : Costo marginal (costo oportunidad de capital);
- i : Tasa de interés
- f : año futuro
- a : año actual o de la evaluación

Si el ingreso marginal de esperar a que el diámetro crezca un centímetro adicional es superior al costo marginal, la decisión es esperar alcanzar ese diámetro y no cortar.

Si el ingreso marginal es menor que el costo marginal, entonces la decisión es cortar los árboles futuros. Lo que de acuerdo a Thünen es que, si el porcentaje de crecimiento en valor es menor que la tasa de interés, se ha alcanzado el diámetro objetivo.

RESULTADOS

Se presentan en esta sección las proyecciones para dos rodales de la Comuna de Lanco, Región de los Ríos y se define en base a los resultados el diámetro óptimo para la cosecha de los árboles futuros y el año en el cuál este se alcanza.

En el Cuadro 2 se muestran los datos de los rodales seleccionados para este ejemplo y en las Figuras 3 y 4 sus respectivas distribuciones diamétricas.

Cuadro 2. Datos dasométricos de dos rodales de roble en la Comuna de Lanco, predio Porvenir.

Rodal	Edad	Número de árboles (N°/ha)	Área basal (m ² /ha)	Diámetro medio cuadrático (cm)	Volumen (m ³ /ha)	Árboles futuro (N°/ha)
1	51	553	27	25,8	244	127
2	42	673	33	25,4	359	207

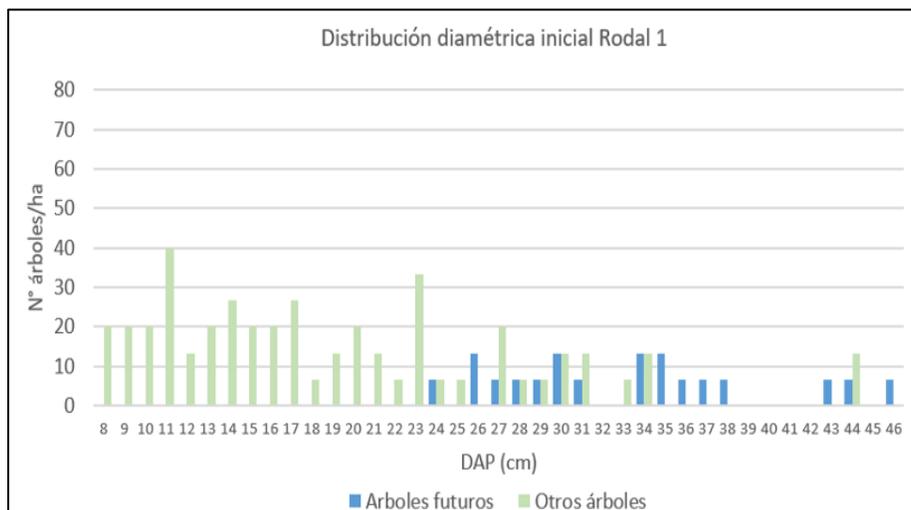


Figura 2. Distribución diamétrica de Rodal 1

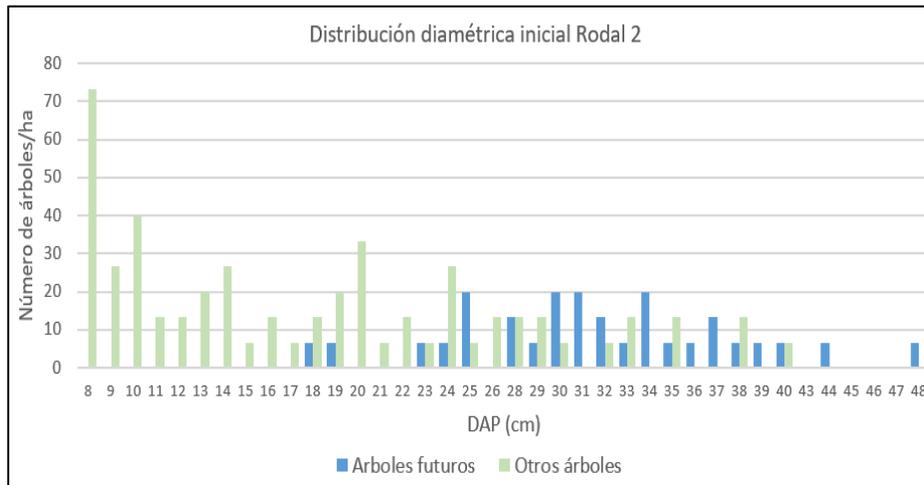


Figura 3. Distribución diamétrica de Rodal 2

Proyección de productos de árbol individual

Para visualizar la metodología de trabajo la Figura 4 muestra la proyección en productos para un árbol individual, que en este caso al día del registro tenía 25 cm de dap.

Se puede observar como a través del crecimiento de altura y diámetro a través de los años se diversifican y mejoran los productos a obtener. Recién con 39 cm de diámetro se obtiene una troza del producto 1.

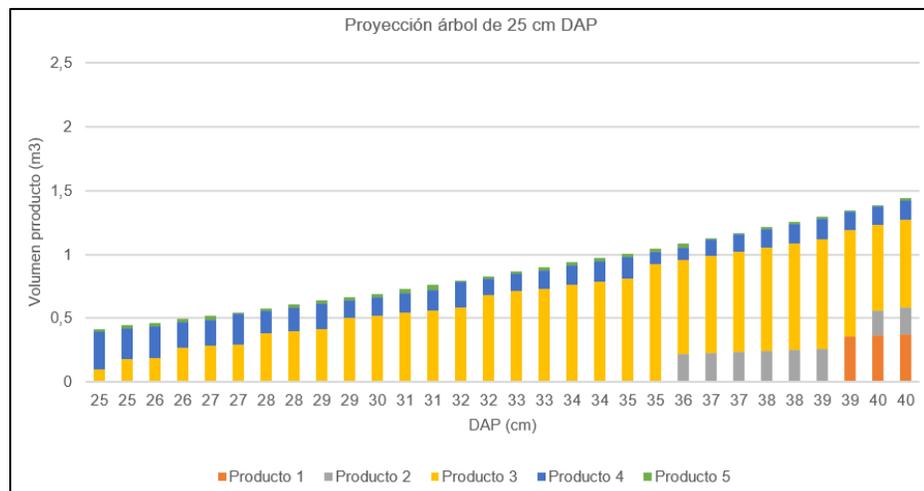


Figura 4. Proyección de productos de un árbol individual de 25 cm (P1= Troza aserrable de alto valor; P2= Troza debobinable; P3= Troza aserrable corta; P4= Trozas pulpable; P5= Leña)

El segundo árbol ejemplo parte con 36 cm de dap y en la Figura 5 se hace evidente que después de alcanzar los 42 cm comienza a aumentar el volumen de madera aserrable (producto 1).

Esto ocurre en saltos notables tras un período de varios años, siempre cuando el diámetro en altura supera el diámetro mínimo para sumar una troza más al volumen de este producto.

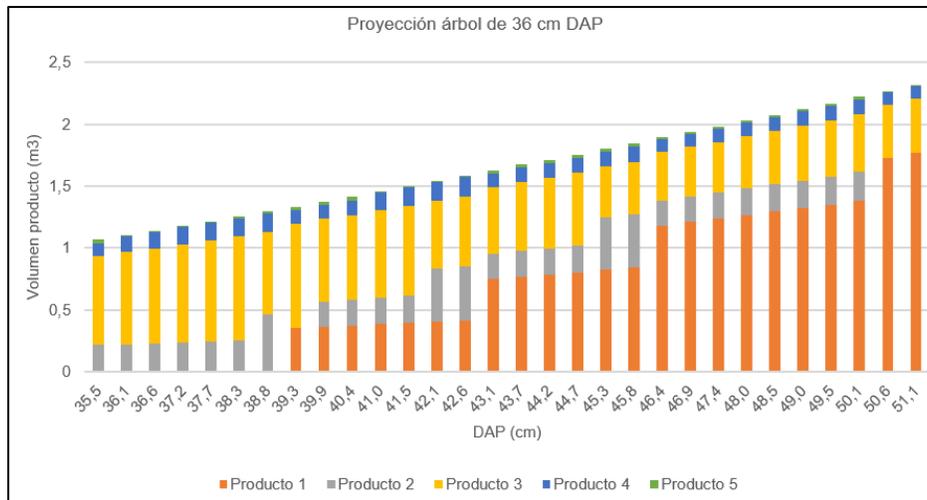


Figura 5. Proyección de productos de un árbol individual de 36 cm (P1= Troza aserrable de alto valor; P2= Trozas debobinable; P3= Troza aserrable corta; P4= Trozas pulpable; P5= Leña)

Es posible definir un esquema de manejo donde los árboles individuales sean cosechados una vez que alcancen el diámetro objetivo (Toral *et al.*, 2014), sin embargo los bosques de roble tienen una dinámica que invita a un manejo coetáneo y de estructura homogénea que requiere de una cosecha a nivel de rodal. Es por ello que el ejemplo de análisis económico ejemplo, no se genera a nivel de árbol individual, sino a nivel de rodal tomando como referencia el dap medio. Los resultados se presentan en la siguiente sección.

Proyección de productos de árboles futuros

La proyección se realiza para evaluar el comportamiento del valor de la producción maderera cada un centímetro de incremento en diámetro, que en este caso de estudio corresponden a un período de dos años. La Figura 6 muestra la proyección de productos para el Rodal 1, que con un diámetro medio inicial de 34 cm tiene un volumen de 125,5 m³/ha en productos, de los cuales el 15% corresponde a producto aserrable de alto valor (P1), un 11% a trozas debobinables (P2), 56% a trozas cortas aserrables (P3), 16% a trozas pulpables (P4) y finalmente un 2% a leña.

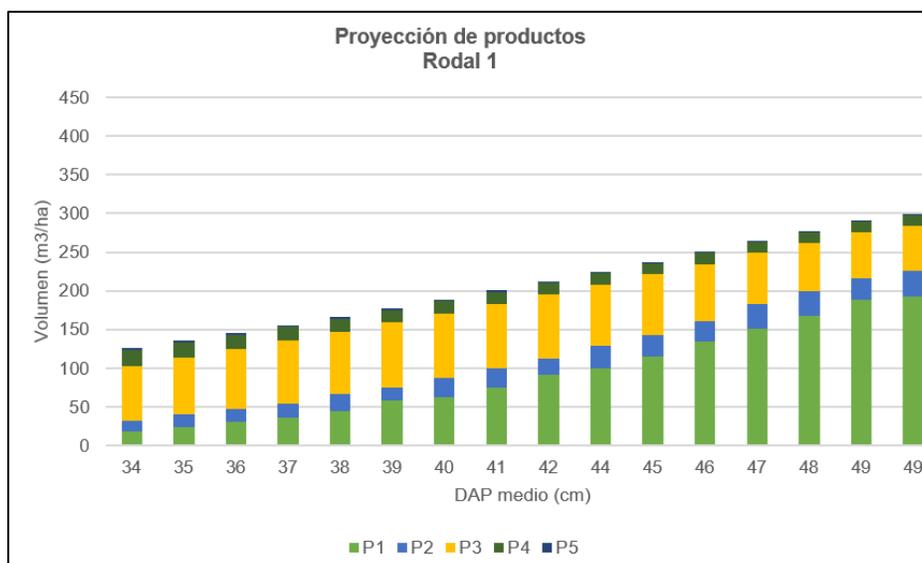


Figura 6. Proyección de productos para rodal 1 (P1= Troza aserrable de alto valor; P2= Troza debobinable; P3= Troza aserrable corta; P4= Troza pulpable; P5= Leña).

El Cuadro 3 muestra los resultados de proyección de valor para el Rodal 1. Esta tabla entrega la información de diámetro medio del rodal, el ingreso marginal del valor del bosque (árboles futuros) y el costo de oportunidad del capital (costo marginal) para tres tasas de interés (6, 4 y 2%).

Luego está la diferencia entre ingreso marginal y costo marginal, para evaluar las pérdidas y ganancias de mantener el bosque en pie frente al incremento de un centímetro en diámetro cada dos años.

En el Cuadro 3 se puede ver que para una tasa de interés del 6%, se evidencia que la máxima diferencia entre ingreso marginal y costo marginal se produce a un DAP medio de 38 cm con un valor de 48.352 \$/ha, sin embargo, hay que considerar que para llegar a ese valor máximo se tuvo una pérdida de 29.422 \$/ha en el diámetro de 37 cm.

Los resultados muestran que se podría esperar hasta los 39 cm de DAP, porque desde ese diámetro hacia arriba siempre el costo de oportunidad del capital es mayor que el ingreso marginal y se considera como parte de la decisión una pérdida puntual a los 37 cm de DAP.

Para el caso de la tasa de interés de 4%, la máxima diferencia también se produce en un DAP medio de 38 cm y es posible seguir esperando la decisión de corta durante todo el horizonte de proyección, porque el ingreso marginal es mayor que el costo marginal.

Sin embargo, se puede notar que en ciertos DAP medios de rodal se producen mayores ganancias (38, 39, 41, 42, 46 y 47 cm), información adicional que puede ser de utilidad para tomar la decisión de esperar para un mayor crecimiento o cortar el bosque.

Para la tasa de interés del 2%, el máximo valor se produce en el DAP medio de 46 cm, y durante todo el período de proyección el ingreso marginal siempre es mayor que el costo marginal, por lo tanto, el tomador de decisión a la tasa de interés de 2% puede esperar sin cortar el bosque.

Cuadro 3. Resultados de proyección del rodal 1.

Año	DAP medio (cm)	Ingreso Marginal (\$/ha)	Costo del capital (\$/ha)			Ingreso marginal – Costo del capital (\$/ha)		
			Interés 6%	Interés 4%	Interés 2%	Interés 6%	Interés 4%	Interés 2%
2020	34							
2022	35	241.652	201.377	132.948	65.822	40.274	108.703	175.829
2024	36	236.396	231.245	152.667	75.585	5.151	83.729	160.811
2026	37	231.042	260.464	171.957	85.135	-29.422	59.085	145.906
2028	38	337.372	289.021	190.810	94.470	48.352	146.562	242.903
2030	39	362.180	330.720	218.339	108.099	31.460	143.840	254.080
2032	40	288.160	375.485	247.893	122.731	-87.325	40.267	165.429
2034	41	371.503	411.102	271.407	134.373	-39.599	100.095	237.129
2036	42	446.576	457.020	301.722	149.382	-10.443	144.855	297.194
2038	44	396.925	512.217	338.162	167.424	-115.292	58.762	229.501
2040	45	447.874	561.276	370.551	183.459	-113.402	77.323	264.415
2042	46	539.756	616.634	407.098	201.553	-76.878	132.658	338.203
2044	47	558.980	683.348	451.142	223.360	-124.368	107.838	335.620
2046	48	514.957	752.437	496.755	245.942	-237.480	18.202	269.015
2048	49	558.464	816.086	538.775	266.747	-257.622	19.689	291.718

El rodal 2 entra a la proyección con un dap medio de 32 cm. Los resultados de la proyección de productos se pueden apreciar en la figura 7 y la proyección de volumen y valor en el Cuadro 4.

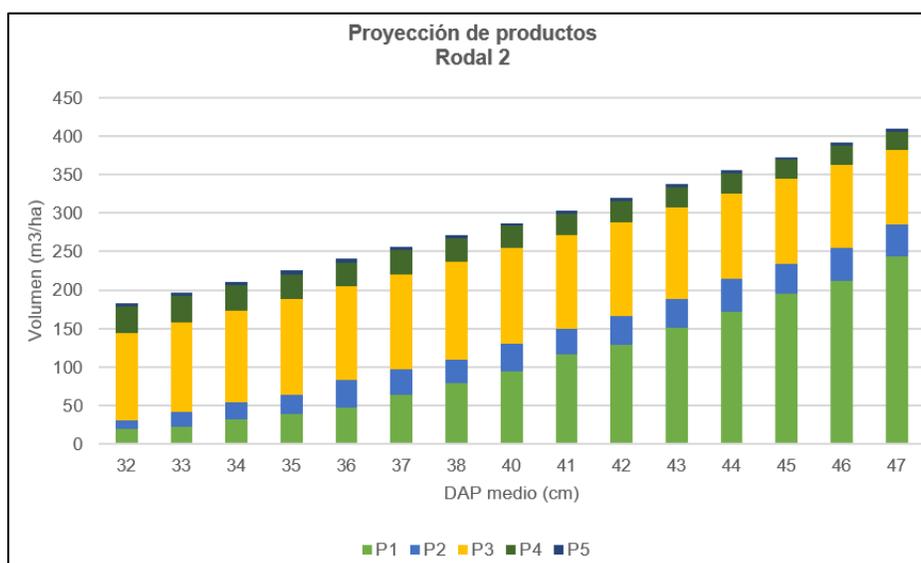


Figura 7. Proyección de productos para rodal 1 (P1= Troza aserrable de alto valor; P2= Troza debobinable; P3= Troza aserrable corta; P4= Trozas pulpable; P5= Leña)

Cuadro 4. Resultados de proyección de Rodal 2.

Año	DAP medio (cm)	Ingreso Marginal (\$/ha)	Costo del capital (\$/ha)			Ingreso marginal – Costo del capital (\$/ha)		
			Interés 6%	Interés 4%	Interés 2%	Interés 6%	Interés 4%	Interés 2%
2020	32							
2022	33	269.334	262.056	173.008	85.656	7.278	96.326	183.678
2024	34	381.662	295.345	194.985	96.537	86.317	186.677	285.125
2026	35	310.152	342.519	226.129	111.956	-32.367	84.023	198.196
2028	36	430.609	380.854	251.437	124.486	49.755	179.171	306.123
2030	37	481.158	434.077	286.575	141.883	47.081	194.582	339.275
2032	38	474.021	493.548	325.838	161.322	-19.527	148.183	312.699
2034	40	559.585	552.137	364.518	180.472	7.448	195.067	379.113
2036	41	622.788	621.302	410.180	203.079	1.486	212.608	419.709
2038	42	472.408	698.278	460.999	228.240	-225.871	11.408	244.168
2040	43	659.135	756.668	499.548	247.325	-97.533	159.588	411.810
2042	44	701.456	838.137	553.333	273.954	-136.681	148.123	427.502
2044	45	644.205	924.837	610.572	302.293	-280.632	33.633	341.912
2046	46	585.571	1.004.461	663.139	328.319	-418.889	-77.568	257.253
2048	47	882.851	1.076.837	710.922	351.976	-193.986	171.930	530.876

En el rodal 2 la máxima diferencia entre ingreso marginal y costo del capital se produce al alcanzar un DAP medio de 34 cm para una tasa de interés del 6%. Mientras que para una tasa de interés del 4% la máxima diferencia se produce a los 41 cm de DAP medio. Finalmente, para la tasa de interés del 2%, la máxima diferencia se produce a los 47 cm de DAP, en este caso al ser una tasa de interés tan baja, el incremento en valor es siempre superior al costo de oportunidad del capital durante todo el horizonte de proyección.

DISCUSIÓN

Muchas veces se usa el método del diámetro meta para sistemas de manejo multietáneo, tal como lo proponen también Toral *et al.* (2014) para renovales del tipo Roble-Raulí-Coigüe. A nivel de rodal y

cuando se planifica una cosecha con otros sistemas silvícolas, como la corta de protección o de árbol semillero, es necesario cosechar una gran cantidad de árboles al mismo tiempo y no es adecuado esperar que cada uno haya alcanzado un diámetro específico. Sin embargo, el presente estudio muestra que la proyección de valor que se realiza por árbol individual, también es aplicable al rodal completo, con pequeñas variaciones del momento óptimo para la cosecha.

Para la aplicación del presentado método, los parámetros de calidad maderera del fuste, cantidad de árboles futuro y una acertada proyección del crecimiento son decisivos para el resultado.

En este estudio la proyección de productos se realizó considerando que no habría restricción de calidad para la obtención de productos, más que el diámetro. En roble, que tiene fustes rectos, cilíndricos y con buena poda natural, existe una alta probabilidad de que este supuesto se cumpla. Solo en plantaciones o rodales muy malos podría haber restricciones a la calidad por ramas gruesas (Müller-Using *et al.*, 2020b). En caso que haya restricciones de calidad por una presencia frecuente del barrenador *Holopterus chilensis*, esto iría en perjuicio de la aplicabilidad de los resultados de este estudio. *Holopterus chilensis* afecta severamente la troza basal de estos árboles afectando entre el 40 y el 50% del volumen total del árbol, quedando inutilizable para producción de madera debobinable, chapa o aserrada y utilizándose sólo para astillas o combustible. La infestación es especialmente frecuente en la provincia de Valdivia, extendiéndose, sin embargo, a toda el área de distribución de la especie (Lanfranco *et al.*, 2014).

Un aspecto relevante para la producción maderera de roble es el proceso de duraminización, que según lo observado por los autores, comienza según sitio, a partir de un diámetro de 40-50 cm. A partir de estos diámetros se espera que al menos parte de la madera se encuentre en proceso de duraminización, lo que conduce a diferencias de color y durabilidad entre duramen y albura. Esto podría ser una desventaja al momento de comercializar. Sin embargo, con los diámetros meta definidos por este estudio, tal fenómeno no debería ocurrir con frecuencia.

Es muy importante conocer la cantidad adecuada de árboles futuro en el rodal para lograr un aprovechamiento completo del sitio. Para su definición resulta útil la herramienta Diagrama de Manejo de Densidad, que entrega el rango de densidad óptima de un rodal en relación a su diámetro medio cuadrático. En el caso de los rodales de roble aquí analizados, y para un diámetro de cosecha de 40 cm, el número mínimo de árboles al momento de la cosecha corresponde a 200 individuos por hectárea, para no subutilizar el sitio. Considerando el rango de densidad de alta productividad (Müller-Using *et al.*, 2012b) la cantidad de árboles sube a 300/ha. Esta es entonces la cantidad óptima de árboles futuro que el rodal debería presentar. En los rodales estudiados la cantidad de árboles futuro rodea los 200 árb/ha. Este es un aspecto de gran relevancia, ya que el método presentado sólo considera los árboles futuro en su análisis. Entre mayor es la diferencia entre los árboles requeridos para una ocupación completa de sitio y la disponibilidad de árboles con calidades que permitan definirlos como futuros, más grande es el aporte de otros árboles al valor del rodal. La falta de individuos de buena calidad es un índice de deficiencias en el manejo silvícola, dado que la especie roble por naturaleza tiende a fustes rectos y cilíndricos. Algunas de las causas pueden ser la intervención tardía, una muy baja densidad del rodal o prácticas de floreo.

Otro factor decisivo en el método presentado, es el crecimiento. Los valores de crecimiento considerados, son crecimientos reales encontrados en bosques manejados de forma comercial. Llama la atención, que a pesar del manejo y de haber seleccionado los rodales de mejor crecimiento, según el criterio de los propietarios y/o encargados de la silvicultura de las empresas forestales involucradas, difieren de los datos publicados como potencial de crecimiento de roble en el área de estudio (Donoso *et al.*, 1993; Grosse 2009). Según los resultados del análisis de crecimiento de los rodales de este estudio (Pilquinao *et al.*, 2020) esta diferencia puede deberse a que las primeras intervenciones se realizaron de forma tardía, ya habiendo pasado el período de mayor crecimiento de la especie, o que las intervenciones hubiesen sido de baja intensidad y no hayan podido crear las condiciones para una buena respuesta en crecimiento.

En cuanto al análisis económico, son de mucha relevancia para los resultados de este estudio los precios asignados a los productos. En relación a los precios considerados, se trata de los precios vigentes al momento de la evaluación. Existe cierta incertidumbre sobre cómo estos podrían cambiar en un futuro. Si se comparan con los precios de especies latifoliadas europeas, por ejemplo con haya (*Fagus sylvatica*), esta logra precios alrededor de un tercio más altos que el roble en Chile (Land und Forst, 2021).

Según diversos estudios, el rango de diámetros meta para roble oscila entre 35 y 60 cm (Müller-Using *et al.*, 2020b; Toral *et al.*, 2014; Grosse & Quiroz, 1999; Martin *et al.*, 2020). Basándose en el cálculo del máximo ingreso marginal, Toral *et al.* (2014) llegan a un diámetro de cosecha de 60 cm, pero no entregan los antecedentes del cálculo de valor. Müller-Using *et al.* (2020) consideran en una plantación de roble un diámetro meta medio de 50 cm, asegurando así que cada uno de los 148 árboles del rodal final entreguen al menos dos trozas de alta calidad. Por su parte, el Estudio de Disponibilidad de Madera de Roble, Raulí y Coigüe, indica que los medianos propietarios apuntan a diámetros objetivos de 40 cm (Martin *et al.*, 2020), lo que concuerda con el resultado de este estudio.

CONCLUSIONES

Generalmente la medida silvicultural aplicada a los renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) en el centro sur de Chile es la definición de árboles futuro que están proyectados a llegar hasta el final de la rotación y que son liberados a través de raleos para su óptimo desarrollo y crecimiento. En este sentido es de relevancia conocer el incremento de valor de estos árboles en específico y contar con una metodología para definir un diámetro de cosecha que permita optimizar el ingreso esperado por venta de los productos madereros. Según el presente estudio, este diámetro varía entre 34 y 46 cm, según la tasa de rentabilidad esperada y la condición inicial del rodal, expresada en la distribución diamétrica de los árboles futuro. Entre más alta la rentabilidad esperada, más bajo es el diámetro meta.

REFERENCIAS

- Araya, L. (2011). Radiografía del Tipo Forestal Roble Raulí Coihue en Curacautín. CONAF Curacautín.
- DIPRES. (2021). http://www.dipres.gob.cl/597/articles-212553_doc_pdf1.pdf. Consulta: 14 diciembre, 2021.
- Donoso, P., Donoso, C. & Sandoval, V. (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): 255-287. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1993.188>
- Duerr, W.A., Fedkiw, J. & Guttenberg, S. (1956). *Financial Maturity: A Guide to Profitable Timber Growing*. Washington, DC: U.S. Department of Agricultural . Tech. Bull., 1146. 74 p.
- Grosse, H. (Ed). (2009). *Silvicultura del bosque nativo chileno, función histórica y proyecciones futuras sobre la base de manejo sustentable*. Instituto Forestal. 136 p.
- Grosse, H. & Quiroz, I. (1999). Silvicultura de los Bosques de Segundo Crecimiento de Roble, Raulí y Coigüe en la Región Centro-Sur de Chile. En: Donoso, C. & Lara, A. (Eds). *Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago. Pp: 95-128.
- Kahler, C.G. (1993). Determinación de una función de ahusamiento para renovales de roble y raulí. *Ciencia & Investigación Forestal*, 7(1): 117-133. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1993.183>
- Land & Forst. (2021). https://www.landundforst.de/media/2021-06/Holzpreistabelle_Juni_2021.pdf. Consulta: 14 diciembre, 2021.
- Lanfranco, D., Alzamora, R., Ruiz, C. & Sandoval, V. (2014). *Medidas Silviculturales para Mejorar el Estado Sanitario en Renovales de Nothofagus en la Provincia de Valdivia*. Informe Final proyecto FIBN 006/2012. 75 p.
- Lara, A., Reyes, R. & Urrutia, R. (2010). *Bosques Nativos*. En: Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile 2008. Instituto de Asuntos Públicos. Centro de Análisis de Políticas Públicas. Universidad de Chile. Santiago. Pp: 126-171.
- Martin, M., Büchner, C., Sagardía, R., Bahamóndez, C., Rojas, Y., Guzmán, F., Barrientos, M. *et al.* (2020). Disponibilidad de madera nativa en renovales de Roble- Raulí- Coihue. Regiones de Ñuble a Los Ríos. INFOR
- MINAGRI. (2008). Ley N° 20283 Sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal. En: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=274894>. Consulta: 16 diciembre, 2021.
- Müller-Using, S., Müller-Using, B., Martin, M., Grosse, H. & Mujica, R. (2012). Estado actual y modelos silvícolas para los renovales de *Nothofagus* en la zona centro sur de Chile. Instituto Forestal. Valdivia, Chile. 32 p.

- 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. *Ciencia & Investigación Forestal*, 26(1): 68-28. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.527>
- Müller-Using, S. (Ed). (2020b). El Manejo de Renovales de Roble-Raulí-Coigüe en una resumida mirada: Estadísticas e investigaciones en curso. Instituto Forestal. Documento de Divulgación N° 52. 60 p.
- Müller-Using, S., Martin, M. & Merino, R. (2012b). El diagrama de densidad de Gingrich como herramienta para la planificación de raleos en renovales del tipo roble-raulí-coigüe. Instituto Forestal. Documento Divulgativo N° 39. 15 p.
- Peralta, M. (1976). Uso, clasificación y conservación de suelos. Santiago, Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. 337 p.
- Pilquinao, B., Martin, M., Müller-Using, S., Rojas, Y., Villalobos, E., Guiñez, R. & Barrientos, M. (2020). 30 años de manejo de renovales de roble: un análisis de la reacción en crecimiento y estructura. *Ciencia & Investigación Forestal*, 26(3): 7-32. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.535>
- SIMEF 2021 <https://simef.minagri.gob.cl/herramientas/reporte-estadistico-ver>. Consulta: 14 diciembre, 2021.
- Toral, M., González, L. & Navarro, R. (2014). Propuesta de manejo para el tipo forestal roble - raulí - coigüe bajo el método de selección. Corporación Nacional Forestal - Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Santiago. 161 p.
- Thünen, J.H. (1826). *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und National-Oekonomie*. Hamburg.
- Veblen, T.T., Donoso, C., Schlegel, F.M. & Escobar, B. (1981). Forest dynamics in south-central Chile. *Journal of Biogeography*, 8(3): 211-247. <https://doi.org/10.2307/2844678>