



APUNTE

## Ensayo de regeneración natural en bosques del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe.

Bastienne Schlegel<sup>1\*</sup>, Sabine Müller-Using<sup>1</sup>, Helmut Keim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dr. Ciencias Forestales, Instituto Forestal (Los Ríos), Valdivia/Chile, bschlegel@infor.cl; smuller@infor.cl

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal, Consultor Forestal, CORMA Bosque Nativo, hkeimschilling@gmail.com

\* Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.556>

Recibido: 09.12.2021; Aceptado: 31.01.2022

### RESUMEN

Se presenta una síntesis de las variables relacionadas al proceso de regeneración natural de los bosques nativos del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, incluyendo la importancia de la fuente de semilla, el sustrato y el medio ambiente, para el establecimiento inicial de las especies arbóreas. Esta información es clave para la generación de las propuestas de corta y regeneración de bosques, las cuales deben basarse en la dinámica natural de los mismos.

Aun cuando existen experiencias prácticas asociadas a la evaluación de la regeneración en una primera etapa, en muchos casos tienen limitaciones, pudiendo conducir a conclusiones erróneas en procesos de mediano plazo. Para el análisis del proceso de regeneración asociado a faenas silvícolas a escala operativa, se presenta un ensayo que estudia el establecimiento de la regeneración tras la aplicación de cortas de regeneración de Árbol Semillero y diversos tratamientos al suelo. Se discute respecto de la incertidumbre de las variables que influyen en una regeneración natural exitosa, resaltando el monitoreo de largo plazo como una oportunidad para proporcionar información asociada a los procesos ecológicos que ocurren en ecosistemas abiertos en los cuales interviene la acción antrópica. Sin embargo, también representa un desafío para la investigación aplicada cuyos resultados tienen impacto en la toma de decisiones pública y privada, así como el desarrollo de la política pública asociada al manejo de los bosques nativos.

**Palabras clave:** Regeneración natural, *Nothofagus*, Roble-Raulí-Coigüe.

### SUMMARY

We present a synthesis of the variables related to the process of natural regeneration of native forests of the Roble-Raulí-Coigüe forest type, including the importance of the seed source, substrate and environment, for the initial establishment of tree species. This is key information for the generation of proposals for harvesting and regeneration of forests, which must be based on the natural dynamics of the forests.

Although, there are practical experiences associated with the evaluation of regeneration in its first stage, in many cases they have limitations, which can lead to erroneous conclusions in medium-term processes. For the analysis of the regeneration process associated with silvicultural prescriptions at an operational scale, we present an experiment that studies the establishment of regeneration after the application of seed tree regeneration cuttings and various treatments to the soil. We discuss about the uncertainty of the variables that influence a successful natural regeneration, highlighting long-term monitoring as an opportunity to provide information associated with the ecological processes that take place in open ecosystems with anthropogenic interaction. However, it also represents a challenge for applied research whose results have an impact on public and private decision-making, as well as the development of public policy associated with the management of native forests.

**Keywords:** Natural regeneration, *Nothofagus*, Roble-Raulí-Coigüe.

## INTRODUCCIÓN

La regeneración corresponde a un proceso dinámico que permite la permanencia de los bosques en el tiempo (Veblen & Donoso, 1987; Grubb, 1977). En este proceso, se concatenan una serie de etapas desde el establecimiento de las plántulas, su reclutamiento como árboles en el dosel y posterior

desarrollo como individuos adultos que dominan la estructura de los bosques (Grubb, 1977; Schemske *et al.*, 1994; Clark *et al.*, 1999).

En condiciones naturales, la regeneración de especies del género *Nothofagus* está fuertemente vinculada al régimen de disturbios o alteraciones, lo que se asocia a los modos de regeneración que tienen las distintas especies. Estudios de dinámica natural de los bosques del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe indican que los modos de regeneración de las tres especies principales (roble (*Nothofagus obliqua*), raulí (*N. alpina*) y coigüe (*N. dombeyi*)) están asociados a disturbios naturales de gran escala, como deslizamientos de tierra y caída masiva de árboles por viento, entre otros, lo que da origen a la mayoría de los renovales que caracterizan a este tipo forestal. Los disturbios también pueden tener un origen antrópico, como el caso de los incendios luego de la habilitación y abandono de praderas para la agricultura y ganadería, que eliminan parcial o totalmente la cobertura vegetal y exponen el suelo mineral, proveyendo los nichos adecuados para la regeneración de estas especies de comportamiento pionero (Veblen *et al.*, 1981; Veblen, 1982; Donoso, 1993; Pollmann & Veblen, 2004). Por otra parte, se ha observado que tanto roble como raulí, también pueden establecerse en claros de gran tamaño producidos por caída masiva de árboles por viento (Veblen *et al.*, 1979; Donoso, 1993). A su vez, raulí, especie más tolerante a la sombra que roble y coigüe, regenera con mayor facilidad con cierta protección lateral, como ocurre en los bordes de deslizamientos o en claros dentro del bosque (Veblen *et al.*, 1981).

Las intervenciones silviculturales intentan emular la dinámica natural de los bosques, determinándose de esta manera los distintos esquemas de manejo y métodos de corta y regeneración (Donoso & Lara, 1998). Cualquiera sea la alternativa, las intervenciones deben tener en cuenta la dinámica de regeneración de las especies presentes en el área a intervenir, siendo clave el conocimiento de algunos factores asociados a su primera etapa, donde una nueva cohorte de árboles logra alcanzar atributos que le permite competir por recursos para formar el rodal y continuar con su ciclo de desarrollo. En esta primera etapa se deben considerar las necesidades ecológicas de las especies objetivo, como el tipo de sustrato y ambiente lumínico que permite la germinación y el establecimiento de las plántulas, así como el rol de otra vegetación que pueda ser un obstáculo (competidora) (González *et al.*, 2015, Veblen *et al.*, 1980) o bien una facilitadora (Lin *et al.*, 2014) para el establecimiento de las especies objetivo.

Para el tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, se permite el uso de los métodos de corta y regeneración de Tala Rasa, Árbol Semillero, Protección y Corta Selectiva (Reglamento Técnico del DL 701 D.S. N° 259), los cuales, dependiendo de la fragilidad del sitio y los objetivos de manejo, permiten regenerar estructuras coetáneas (Tala Rasa, Protección y Árbol semillero) o multietáneas (Corta Selectiva). Sin embargo, en bosques del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe este tipo de cortas con un enfoque de manejo sostenible son una práctica poco habitual, observándose incertidumbre respecto al establecimiento de una regeneración natural exitosa (Müller-Using *et al.*, 2014). Aun cuando existen experiencias prácticas asociadas a la evaluación de la regeneración (Quiroz *et al.*, 2011), en muchos casos representan una impresión momentánea, con limitaciones para extrapolar los resultados, lo que puede conducir a conclusiones erróneas en procesos de corto y mediano plazo, en lo que al establecimiento de la regeneración natural se refiere.

El objetivo de este trabajo es aportar antecedentes respecto a la regeneración de bosques de Roble-Raulí-Coigüe en Chile, proporcionando una síntesis de los factores que la afectan, e información de un ensayo que estudia el proceso en las primeras etapas de regeneración del bosque, tras la aplicación de una corta de regeneración de Árbol Semillero y diversos tratamientos al suelo.

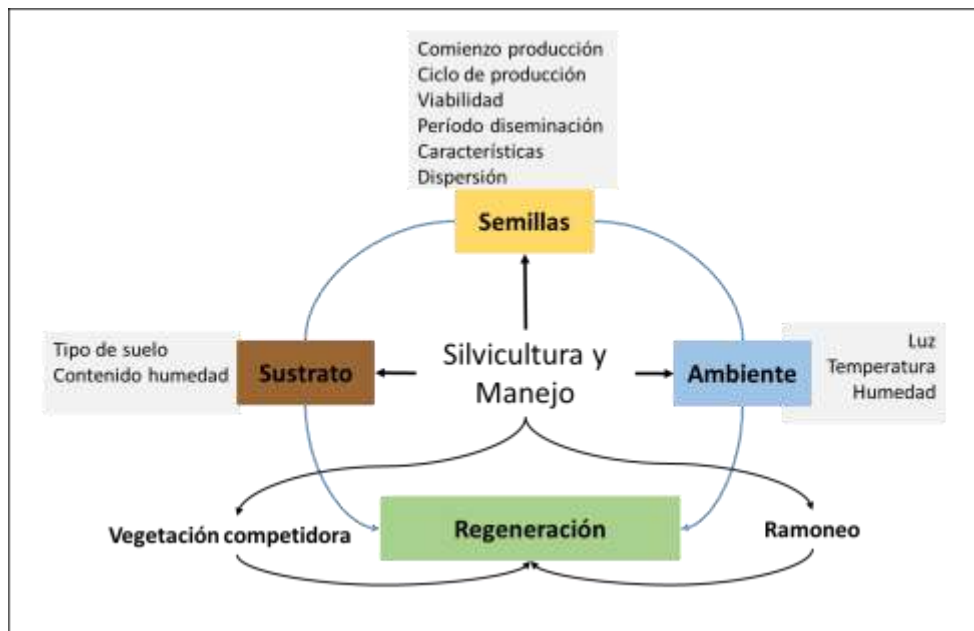
## **ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LA REGENERACIÓN DE BOSQUES DEL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE**

En el proceso de regeneración es importante conocer aquellos factores intrínsecos asociados al establecimiento inicial, como lo son la fuente de semillas, el sustrato y el medio ambiente (Daniels *et al.*, 1982) (Figura 1). Esto permite identificar las variables que se pueden manipular y las acciones que se pueden ejecutar para maximizar la probabilidad de éxito en la primera fase del proceso. Por ejemplo, la aplicación de cortas preparatorias (previas a la regeneración) que favorecen la producción de semillas, la

selección de árboles proveedores de semillas, la época de cosecha, el control de patógenos y otras que puedan influir sobre la fructificación. Normalmente la fructificación cíclica de los *Nothofagus* complica la utilización del método de Árbol Semillero, especialmente cuando ocurren años de baja producción de semillas, lo que permite un mayor desarrollo de especies arborecentes, arbustivas y herbáceas como *Chusquea spp.*, *Aristotelia chilensis*, *Rubus sp.*, y gramíneas, entre otras. Esta situación limita el establecimiento de regeneración de las especies arbóreas deseadas (Quiroz *et al.*, 2011).

Una síntesis de información relacionada con la fuente de semillas de las especies roble, raulí y coigüe se presenta en el Cuadro 1.

Al decidir el tipo de intervenciones silvícolas y el manejo, se debe evaluar también cuáles son las principales variables que afectan el establecimiento inicial de las especies y las alteraciones físicas que podrían ser determinantes para modificar el nicho (Morris, 2003).



(Fuente: elaboración propia)

**Figura 1.** Factores asociados al establecimiento inicial de las especies y elementos externos que afectan el proceso de regeneración natural.

Además de los factores intrínsecos asociados al establecimiento inicial de las especies, se debe tener en cuenta algunos elementos externos que afectan el proceso de regeneración en una primera etapa, como es la vegetación competitiva y el posible ramoneo. Tanto la competencia de especies arbustivas como herbáceas puede ser un impedimento para especies demandantes de luz, como roble y coigüe. En el caso de raulí, la vegetación arbustiva puede ser facilitadora para su desarrollo, dependiendo del nivel de cobertura. Por ejemplo, densos matorrales de *Chusquea spp.*, compiten fuertemente con especies del género *Nothofagus* (Veblen *et al.*, 1980; González *et al.*, 2002). Por otra parte, el pastoreo de ganado (ramoneo y pisoteo) puede producir un impacto significativo en la regeneración forestal, pudiendo impactar negativamente en la abundancia, composición y calidad de plántulas y brinzales (Vázquez, 2002; Zamorano-Elgueta *et al.*, 2014). Poco se sabe del impacto de otros animales introducidos como ciervos y jabalíes, entre otros. Estos últimos escarban el suelo y pueden afectar la regeneración natural, al remover las semillas y provocar el descalce de las plántulas recién establecidas.

**Cuadro 1.** Información respecto a semillas de roble, raulí y coigüe.

Variables	Síntesis de la información documentada
Comienzo de producción de semillas	Roble, raulí y coigüe generalmente comienzan a producir frutos (semillas) entre los 20 y 40 años de edad (Rodríguez, 1990). Sin embargo, observaciones de campo establecen que roble puede presentar una abundante floración a partir de los 10 o 15 años de edad (Donoso, 1993) y raulí a partir de los 23 años (Forestry Commission, 1957, Donoso, 1993).
Ciclo de producción (vecería)	Las tres especies presentan una periodicidad cíclica, con años de alta y baja producción de semillas (Donoso, 2006). Observaciones de campo indican que roble tiene una alta producción cada 2 a 3 años (Becker, 1981; Murúa & González, 1985; Núñez & Peñaloza, 1985; Donoso et al., 1998). Raulí y coigüe, en tanto, tiene una alta producción cada 3 a 5 años (Donoso, 1993).
Viabilidad	En años de alta producción, roble y coigüe presentan sobre un 20% de viabilidad, en cambio raulí, presenta una viabilidad alrededor de un 10% (Burshel <i>et al.</i> , 1976; Becker, 1981). Esta viabilidad es menor en años de baja producción (Burshel <i>et al.</i> , 1976). Por otra parte, datos más recientes no publicados del CTPF <sup>1</sup> indican una viabilidad de 12,5% para coigüe y de 17% para roble y raulí de semillas recolectadas en la Provincia de Arauco. Roble, raulí y coigüe conforman un banco de semillas transitorio cuyas semillas germinan estrictamente en la primavera inmediata a la diseminación después de atravesar las condiciones frías y húmedas del invierno (Figueroa <i>et al.</i> , 2004). Las larvas del microlepidóptero <i>Perzelia sp.</i> dañan el embrión de las semillas de roble, raulí y coigüe reduciendo considerablemente la viabilidad de éstas (Becker, 1981; Donoso <i>et al.</i> , 1998).
Período de diseminación	Variable según latitud, altitud y exposición (Donoso <i>et al.</i> , 1998). En general se establece que roble presenta su máximo período de diseminación entre enero y febrero (Riveros <i>et al.</i> , 1995), raulí entre marzo y abril (Donoso <i>et al.</i> , 1999) y coigüe entre enero y marzo (Donoso <i>et al.</i> , 1991).
Características (Forma, tamaño)	Las semillas de roble, raulí y coigüe son de tamaño pequeño y presentan pequeñas alas (bialadas o trialadas) (Rodríguez <i>et al.</i> , 1983). El tamaño y peso de las semillas disminuye de norte a sur, y de mayor a menor altitud (Donoso <i>et al.</i> , 1992). En roble el número de semillas por Kg varía entre 50.000 - 150.000 unidades (Donoso <i>et al.</i> , 1992); en raulí entre 75.000 -150.000 (Donoso & Cabello, 1978; López, 1983; Werner, 1987); y en coigüe entre 200.000 - 600.000 unidades por kilogramo (Ordoñez, 1987).
Dispersión	La dispersión de las semillas es principalmente por gravedad, pues por su peso y sus reducidas alas la dispersión por el viento no es efectiva a grandes distancias (Rodríguez, 1990). Un gran porcentaje de las semillas cae a una distancia de 20 metros del árbol productor o a una a dos veces la altura del árbol (Veblen <i>et al.</i> , 1996; Donoso, 1993).

En la fase de germinación y establecimiento de las plántulas, es necesario considerar un sustrato adecuado y un ambiente acorde a los requerimientos de las distintas especies. En el Cuadro 2 se resume información respecto a variables de suelo y ambientales relevantes para la germinación y establecimiento inicial de la regeneración.

<sup>1</sup> Centro Tecnológico de la Planta Forestal, INFOR Sede Biobío.

**Cuadro 2.** Variables de sustrato y ambiente adecuado para la germinación y establecimiento de plántulas de roble, raulí y coigüe.

Variables	Síntesis de la información documentada
Tipo de suelo	En el centro-sur de Chile, las tres especies se establecen principalmente sobre suelos minerales (Veblen & Ashton, 1978). Tanto roble como raulí se desarrollan principalmente sobre suelos trumaos profundos y rojo arcillosos. Coigüe es una especie menos exigente y puede establecerse sobre suelos minerales delgados y escoria (Donoso, 2006). Un horizonte orgánico, con un estrato espeso de hojarasca no permite que las raíces pequeñas de las plántulas de roble, raulí o coigüe alcancen el suelo mineral y se secan en la temporada de escasa humedad (Donoso, 2006). En resumen, roble y raulí se desarrollan mejor en suelos de baja densidad, alta aireación y disponibilidad de nutrientes (Donoso <i>et al.</i> , 1999; 2011; 2013; Donoso, 2006; Reyes <i>et al.</i> , 2014). Coigüe puede tolerar una baja fertilidad y crece bien en una amplia variedad de sitios (Donoso <i>et al.</i> 1999; Donoso, 2006), siendo menos sensible a la compactación.
Contenido humedad	Tanto roble como raulí requieren suelos de buen drenaje. Coigüe es capaz de soportar un drenaje restringido, estableciéndose en una amplia variedad de sitios (Donoso <i>et al.</i> , 1999; Donoso, 2006).
Luz (cobertura copas)	Roble y coigüe pueden regenerar bien bajo dosel con una cobertura de copas entre 10 y 20%, mientras que raulí, más tolerante a la sombra, regenera adecuadamente bajo una cobertura de copas de 30-40% (Müller-Using <i>et al.</i> , 2014). Sin embargo, tanto roble como coigüe presentan un mejor crecimiento inicial en condiciones abiertas (Grosse, 1988). Raulí generalmente tiene problemas de desarrollo juvenil en exposición norte y requiere una cobertura semi-abierta para un mejor desempeño (Dezzotti, 2008).
Temperatura y humedad	Altas temperaturas, largas temporadas sin lluvia y exposición al viento limitan la germinación y el desarrollo de las plántulas (Müller-Using <i>et al.</i> , 2014). Raulí se desarrolla en sectores con abundante precipitación todo el año y temperaturas moderadas en verano (Donoso, 1993). Roble y coigüe soportan condiciones más extremas de temperatura y baja humedad en comparación con raulí (Donoso, 2006).

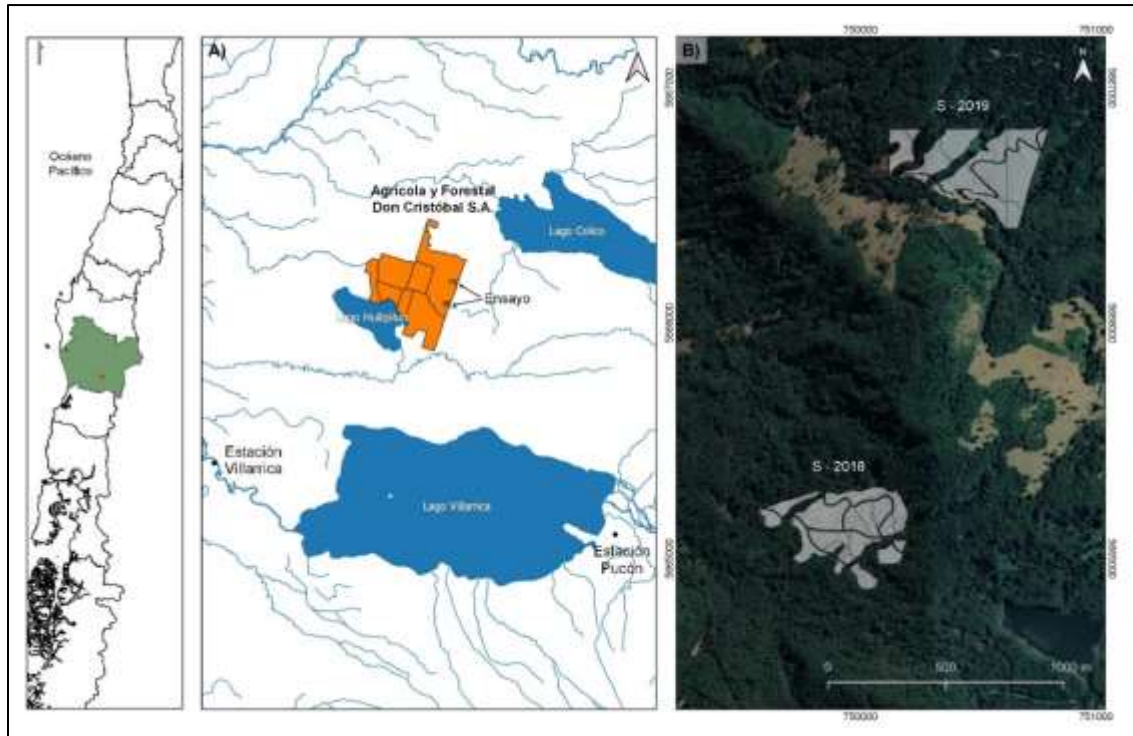
## ENSAYO DE REGENERACIÓN

Si bien en los últimos años se han ejecutado cortas de regeneración en renovales de Roble-Raulí-Coigüe (ej. tala rasa en faja), se considera necesario sistematizar la información y evaluar las variables que inciden en el éxito de la regeneración que logra producir una nueva masa forestal de calidad. De esta manera, como una acción conjunta entre un propietario de bosque nativo y el Instituto Forestal, surge el interés de establecer un ensayo de silvicultura aplicada en cortas de regeneración de Árbol Semillero en bosques de segundo crecimiento del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe.

Este ensayo, inserto en un programa de investigación vinculado a la Silvicultura y Manejo de Bosque Nativo en el Instituto Forestal (INFOR), pretende generar información para entender la efectividad del método silvícola y tratamientos de suelo aplicados, en relación a la dinámica de la regeneración, considerando el monitoreo de la regeneración natural de la especie objetivo, la cantidad y periodicidad en la producción de semillas, el efecto de la cobertura arbórea, las especies competidoras y variables de sustrato.

El ensayo se estableció en bosques de segundo crecimiento del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe ubicado en la comuna de Villarrica, Región de La Araucanía, específicamente en el predio denominado Don Cristóbal (3.024 ha), al Norte del Lago Villarrica. Esta zona se caracteriza por un clima templado húmedo, con una precipitación media anual de 2.100 milímetros (estación Villarrica, 39,21°S, 72,29°O) y una temperatura promedio anual de 12,1°C (estación Pucón 39,27°S, 71,95°O) (Figura 2). El ensayo se estableció en dos rodales, S-2018 y S-2019, el primero de 12,28 ha dominado por la especie roble; y el segundo de 12,09 ha, dominado por roble, raulí y coigüe (Figura 2). Ambos tienen aproximadamente 70 años de edad y fueron originados a partir de un incendio ocurrido alrededor del año 1947; se encuentran en terrenos planos a ligeramente inclinados, con suelos profundos a moderadamente profundos derivados de cenizas volcánicas recientes con un alto contenido de materia orgánica en los horizontes superficiales (serie Caburga).





(Fuente: Elaboración propia).

**Figura 2.** Ubicación del predio Don Cristóbal, comuna de Villarica (A); Ubicación de los ensayos al interior del predio (B).

### Antecedentes de Manejo

El Rodal S-2018 fue intervenido el año 2010 mediante un raleo mixto (mezcla de raleo por lo alto y por lo bajo). La corta de Árbol Semillero se realizó entre mayo y diciembre del año 2018. Los tratamientos al suelo fueron realizados en enero de 2019. Para el control de especies competidoras a la regeneración, entre las que destaca *Chusquea culeou* y especies como el maqui u otras, se aplicó herbicida (Glifosato y Garlón) en otoño de 2019. Posterior a la intervención se realizó una plantación a una densidad de ~890 plantas/ha con las especies raulí (75%) y roble (25%).

El Rodal S-2019 no tuvo cortas intermedias previas. La corta de Árbol Semillero se realizó entre septiembre de 2019 y enero de 2020, junto al tratamiento de suelo. Para el control de especies competidoras a la regeneración se aplicó herbicida en el mes de agosto de 2020 (Glifosato y Garlón). Posteriormente, se realizó una plantación a una densidad de ~870 plantas/ha con las especies raulí (60%) y roble (40%). Este rodal consideró, como medida de protección ambiental, la retención variable en bosquetes de 1.000 m<sup>2</sup> por cada hectárea intervenida. Lo anterior, con el objetivo de lograr un 30% cobertura a escala de rodal.

Los herbicidas Glifosato y Garlón no tienen efecto residual y, por lo tanto, no afecta a las semillas caídas y éstos se aplicaron antes de la emergencia de las plántulas de roble en primavera.

Las variables dasométricas pre y post-cosecha de ambos rodales se resumen en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Principales variables dasométricas pre y post-cosecha de los rodales S-2018 y S-2019.

Variables	S-2018		S-2019	
	Pre-cosecha	Post-cosecha	Pre-cosecha	Post-cosecha
Densidad (N/ha)	532	54	880	31
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	37,2	9,83	63,7	7,13
DMC (cm)	30,02	47,3	30,26	54,31
Área copa promedio (m <sup>2</sup> )		35,7		23,6
Especies principales	<i>N. obliqua</i>	<i>N. obliqua</i>	<i>N. obliqua/N. dombeyi</i>	<i>N. obliqua</i>
N (parcelas)	5 (500 m <sup>2</sup> )	3 (2.500 m <sup>2</sup> )	3 (500 m <sup>2</sup> )	3 (2.500 m <sup>2</sup> )

Nota: Antecedentes pre-cosecha fueron obtenidos a partir del estudio técnico presentado a CONAF.

La intervención silvícola se aplicó con el objetivo de generar una masa forestal homogénea y regular, principalmente a partir de monte alto. Dada las características del bosque y los requisitos de la Ley 20.283, es posible aplicar la corta final a bosques de segundo crecimiento (DMC  $\geq$  30 cm) con el fin de regenerar especies intolerantes a la sombra (Estudio técnico resolución 877/33-13/16). Respecto a los tratamientos culturales y el cumplimiento de lo dispuesto en el plan de manejo, la ejecución técnica de la faena forestal estuvo a cargo del Ingeniero Forestal, coautor de este documento, Sr. Helmut Keim.

En ambos rodales se evidencia la presencia de ciervo rojo y jabalí, cuyo impacto en la regeneración pretende ser controlado con la instalación de un cerco perimetral de 1,8 metros de altura en torno a los rodales.

### Tratamientos y ensayo

Después de la intervención de los rodales, se aplicó los tratamientos de preparación de suelo (Cuadro 4), los que consistieron en:

- Balde: Remoción del material orgánico grueso y fino (leñoso y hojarasca) y exposición del suelo mineral. El tratamiento es realizado con una excavadora oruga que retira el material superficial con la parte plana posterior del balde. Este tratamiento se aplicó en fajas de 12 metros de ancho y largo variable, dejando los residuos orgánicos entre las fajas.
- Casilla: Remoción del material leñoso de la superficie del suelo y mezcla de horizonte orgánico con el mineral. El tratamiento es realizado con el balde de una excavadora oruga que penetra y da vuelta el suelo de un volumen aproximado de 0,8 m<sup>3</sup>. A escala de rodal, este tratamiento se aplicó en casillas distanciadas sistemáticamente cada 4 metros. Los residuos que se ubican fuera de las casillas quedan dispuestos en el mismo lugar.
- Rastrillo: Remoción del material orgánico grueso (leñoso) y exposición parcial del suelo mineral. El tratamiento es realizado con un dispositivo metálico de aproximadamente 2,5 metros de ancho y 3 puntas de 30 centímetros, las cuales barren y ordenan los residuos. Este tratamiento se aplicó en fajas de 12 metros de ancho, dejando los residuos gruesos entre las fajas.

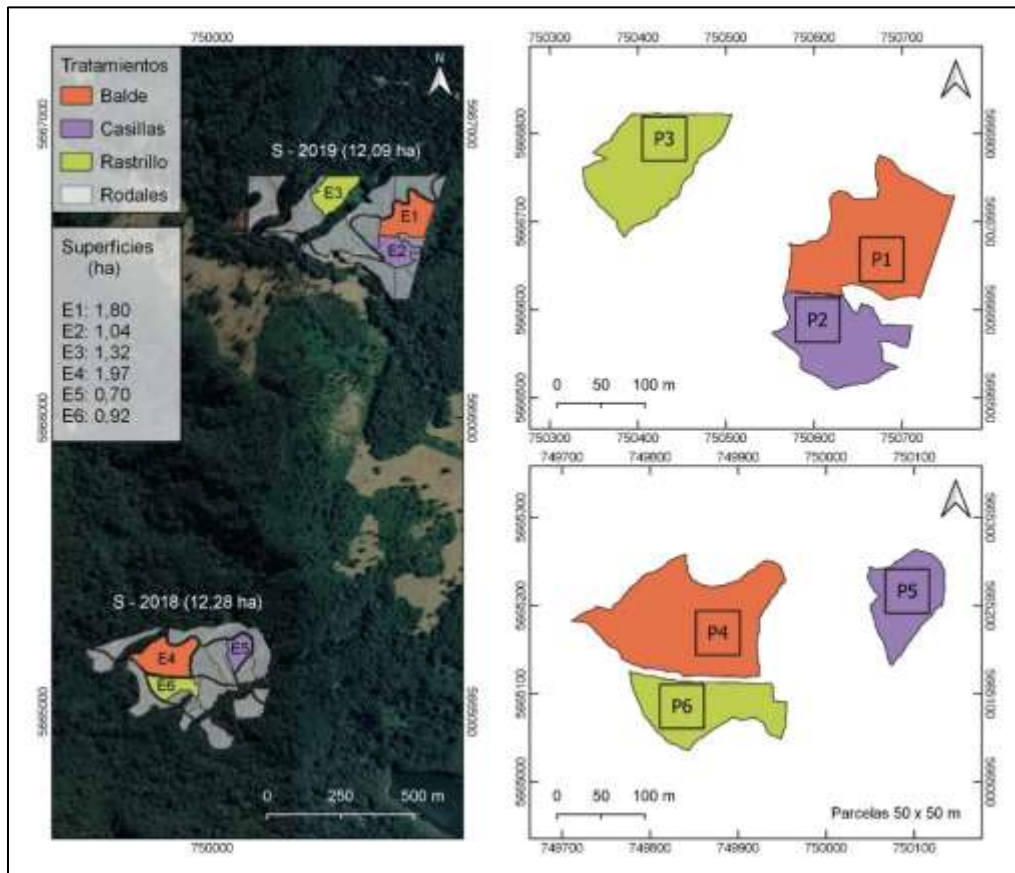
**Cuadro 4.** Superficie y costos de tipo de preparación de suelo en los rodales S-2018 y S-2019.

Tipo preparación de suelo	S-2018 Superficie (ha)	S-2019 Superficie (ha)	Costo <sup>2</sup> (\$/ha)
Balde	7,05	6,81	394.184
Casilla	0,68	1,11	205.882
Rastrillo	2,62	3,06	158.446
Rastrillo e Incorporador Mulcher	1,82	0,99	590.585
Mulcher sobre balde	0,11	-	449.552
Manual en fajas	-	0,12	-
<b>Total</b>	<b>12,28</b>	<b>12,09</b>	<b>-</b>

<sup>2</sup> Corresponde únicamente al costo de la preparación del suelo el cual se deriva de las horas/máquina utilizadas para la faena.

Respecto a la preparación del terreno, se ha establecido la importancia de eliminar la capa orgánica del suelo, lo que permite controlar la vegetación competidora y crear micrositios (Soto & Puettmann, 2018). Por ejemplo, la eliminación de rizomas de *Chusquea spp.* y la exposición del suelo mineral crean las condiciones para la germinación de las especies de *Nothofagus* (Veblen *et al.*, 1980).

En cada rodal se estableció una parcela permanente de 2.500 m<sup>2</sup>, en las cuales se dispuso 16 subparcelas de 0,25 m<sup>2</sup> y 8 trampas de 0,25 m<sup>2</sup> para el monitoreo de la regeneración inicial y semillas, respectivamente. La ubicación de los tratamiento al suelo, así como el establecimiento de las parcelas permanentes se presentan en la Figura 3.

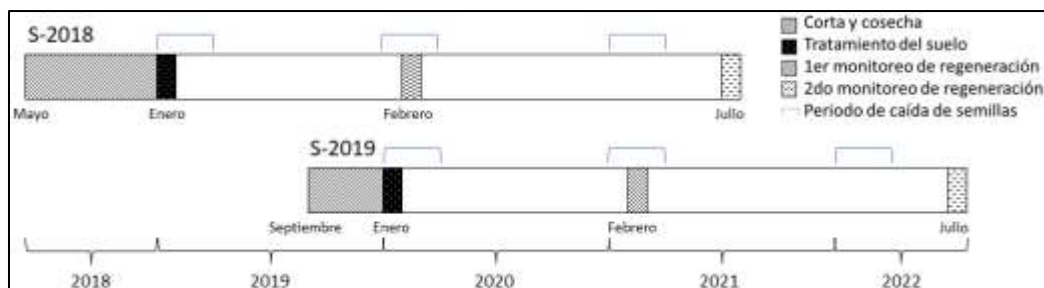


(Fuente: Elaboración propia)

**Figura 3.** Ensayos y ubicación de parcelas permanentes en los rodales S-2018 y S-2019.

La ocasión en que se realizó las actividades de cosecha, preparación de suelo y monitoreo de los rodales se sintetiza en la escala temporal de la Figura 4.





(Fuente: Elaboración propia)

**Figura 4.** Línea de tiempo que representa el período de las intervenciones silvícolas, los tratamientos al suelo y las fechas del monitoreo para los rodales S-2018 y S-2019.

### Resultados preliminares

Aproximadamente 4 meses después de la germinación de la primavera del año 2019, la regeneración en el rodal S-2018 mostró una alta densidad inicial de roble, donde la mayoría de las plántulas presentó una altura inferior a 10 cm. Tanto para las mediciones realizadas en febrero de 2020 como julio de 2021, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos del suelo, con una densidad de plantas significativamente mayor para Balde ( $p < 0,05$ ). El tratamiento Rastrillo presentó una densidad intermedia y Casillas la menor, sin diferencias significativas entre éstos ( $p < 0,05$ ). Cabe destacar la elevada mortalidad de plántulas que transcurre en los 17 meses, entre la primera y segunda medición, con un 34, 62 y 55% para los tratamientos con Balde, Casillas y Rastrillo, respectivamente (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Promedio y error estándar del número de plantas de roble en regeneración en el rodal S-2018, desglosado por tratamiento de suelo, estrato de altura de las plantas y fecha de evaluación.

Tratamiento	Fecha	Regeneración (plantas/ha)				Total
		Estrato 1 <10 cm	Estrato 2 10–25 cm	Estrato 3 25–50 cm	Estrato 4 50–100 cm	
Balde	feb20	1.002.500 a (± 207.347)	45.0 00 (± 20.936)	2.500 (-)	-	1.050.000 a (± 209.714)
	jul21	127.500 a (±54.555)	275.000 a (± 76.844)	245.000 a (±66.621)	45.000 (±18.212)	692.500 a (±164.021)
Casillas	feb20	60.000 b (± 26.833)	-	-	-	60.000 b (± 26.833)
	jul21	- b	7.500 b (±4.031)	12.500 b (±8.732)	2.500 (-)	22.500 b (±13.150)
Rastrillo	feb20	170.000 b (± 41.231)	62.500 (± 25.812)	-	-	232.500 b (± 61.125)
	jul21	- b	10.000 b (±7.746)	67.500 b (±32.297)	25.000 (±16.279)	105.000 b (±50.183)

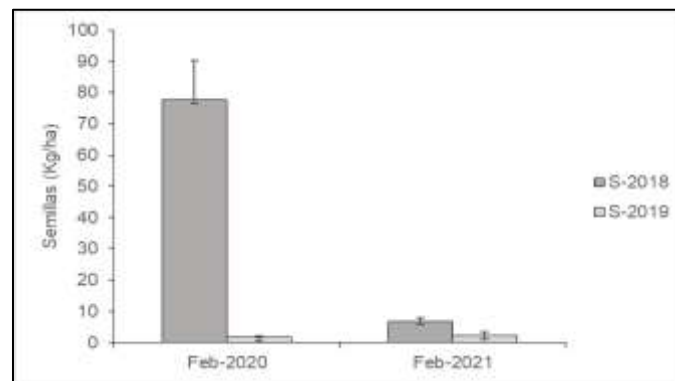
Letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

A pesar que el rodal S-2019 estuvo originalmente dominado por roble y coigüe (Cuadro 3), en la primera evaluación la regeneración de estas especies estuvo ausente. Solo se encontraron plantas de olivillo y avellano de origen vegetativo (Cuadro 6). La diferencia entre ambos rodales puede deberse a la baja semillación de *Nothofagus* registrada en el verano de 2021 (Figura 5), así como a las diferentes producciones de semillas (Kg/ha) observadas entre los rodales en febrero de 2020, ocasión en que hubo alta semillación en el rodal S-2018 y muy baja en el rodal S-2019. Esto último puede deberse al mayor desarrollo de las copas asociado a raleos previos, que generaron importantes diferencias entre los rodales (Cuadro 3).

**Cuadro 6.** Promedio y error estándar del número de plantas en regeneración en rodal S-2019, desglosado por tratamiento de suelo y estrato de altura de las plantas.

Tratamiento	Fecha	Regeneración (plantas/ha)*					Total
		Estrato 1 <10 cm	Estrato 2 10-25 cm	Estrato 3 25-50 cm	Estrato 4 50-100 cm	Estrato 5 100-130 cm	
Balde	feb21	-	-	2.500 (-)	5.000 (±3.416)	2.500 (-)	10.000 (± 5.744)
Casillas	feb21	2.500 (-)	-	2.500 (-)	-	-	5.000 (± 3.416)
Rastrillo	feb21	-	-	-	-	-	-

\* Plántulas de olivillo y avellano a partir de rebrotes de tocón.



**Figura 5.** Cantidad de semillas (Kg/ha) recolectadas en febrero de 2020 y 2021 en rodales S-2018 y S-2019.

Los antecedentes respecto a la fuente de semillas y los factores de sustrato y ambiente, derivados de la revisión bibliográfica, muestran la variabilidad de consideraciones a tener en cuenta para la regeneración en su primera etapa. Si bien, se presenta un resumen de la información documentada, esta debe tomarse solo como referencia, ya que también existen otros trabajos que dan cuenta de resultados diferentes, por ejemplo, un ciclo de producción de semillas bienal para coigüe y raulí (Burshel *et al.*, 1976), o ciclos de producción de semillas de coigüe bianuales, con dos años de alta producción seguidos de otros dos de baja producción (Donoso *et al.*, 1991; Muñoz, 1993). Lo anterior, da cuenta de la necesidad del monitoreo de largo plazo para identificar patrones y su relación con las variables climáticas (Marchelli & Gallo, 1999). Por ejemplo, el régimen de precipitaciones en primavera se afirma que tendría efecto en la producción de semillas de esa temporada (Donoso *et al.*, 1998). Por lo tanto, para saber si habrá suficiente semilla para la regeneración natural de *Nothofagus*, es necesario conocer los ciclos de semillación o señales de años de buena semillación, donde es clave entender la fenología de las especies y la influencia de los factores ambientales sobre la floración fructificación, producción y diseminación de semillas.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo presenta información respecto de los factores asociados a la regeneración de bosques del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe en su primera etapa de desarrollo. Si bien, existe información documentada para las tres principales especies que componen este tipo forestal, esta es puntual o proviene de investigaciones de corto plazo. Lo anterior indica la necesidad de realizar seguimiento a los factores determinantes tales como, los ciclos de semillación y las variables que influyen sobre el mismo, por ejemplo, la influencia del clima o tratamientos silvícolas. A lo anterior se suma la variedad de factores que influyen en el establecimiento de las especies tales como el tipo de sustrato y las amenazas que deben controlarse.

El ensayo presentado tiene como propósito hacer seguimiento a largo plazo de los factores que afectan la regeneración, incluyendo tratamientos al suelo incluidos en una propuesta silvícola desarrollada a escala operativa. Si bien, la información presentada muestra señales de un mejor desempeño de la regeneración natural en años de alta semillación, donde el tipo de tratamiento del suelo también tiene un efecto importante, siendo el tratamiento balde el que presenta la más alta regeneración, esta información es preliminar y debe continuar evaluándose a mediano y largo plazo para concluir sobre la mejor alternativa para lograr el reclutamiento de los árboles en el dosel.

El monitoreo de largo plazo en ensayos de silvicultura de los bosques nativos representa una oportunidad para proporcionar información asociada a los procesos ecológicos que ocurren en ecosistemas abiertos en los cuales interviene la acción antrópica. Sin embargo, también representa un desafío para la investigación aplicada, cuyos resultados tienen impacto en la toma de decisiones pública y privada, así como el desarrollo de la política pública asociado al manejo de los bosques nativos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el programa de trabajo INFOR “Silvicultura y manejo de ecosistemas forestales nativos” año 2021, que forma parte de la línea de investigación “Restauración y manejo ecosistémico de recursos forestales nativos”, financiado por MINAGRI.

Se agradece a Joselyn Pinto por la elaboración de las Figuras 2 y 3.

## REFERENCIAS

- Becker, J. (1981). Estudio de producción de litter en bosques latifoliados del sur de Chile. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Fac. de Ingeniería Forestal. Valdivia, Chile. 181 p.
- Burshel, P., Gallegos, C., Martínez, O. & Moll, W. (1976). Composición y dinámica regenerativa de un bosque virgen mixto de raulí - coigüe. *Bosque*, 1(2): 55-74. <https://doi.org/10.4206/bosque.1976.v1n2-02>
- Clark, J.S., Beckage, B., Camill, P., Cleveland, B., Hillerislambers, J., Lichter, J., McClachlan, J. *et al.* (1999). Interpreting recruitment limitations in forests. *American Journal of Botany*, 86(1): 1-16. <https://doi.org/10.2307/2656950>
- Daniels, P.W., Helms, U.E. & Baker, F.S. (1982). Principios de Silvicultura. Mc Graw Hill. México.
- Dezzotti, A. (2008). Acumulación y asignación de biomasa en renovales de tres especies de *Nothofagus* en los extremos de un gradiente de luz en claros de un bosque subantártico. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 17. Pp: 18-30.
- Donoso, C. & Cabello, A. (1978). Antecedentes Fenológicos y de Germinación de Especies Leñosas Chilenas. Santiago, Chile. *Ciencias Forestales*, 1(2): 31-41.
- Donoso, C., Escobar, B. & Cortés, M. (1991). Técnicas de Vivero y Plantación para Raulí (*Nothofagus alpina*). Chile Forestal, Doc. Téc. N° 53. 8 p.
- Donoso, C., Escobar, B. & Cortés, M. (1991). Técnicas de Vivero y Plantación para Coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Chile Forestal, Doc. Téc. N° 55. 8 p.
- Donoso, C., Escobar, B. y Cortés, M. (1992). Técnicas de Vivero y Plantación para Roble (*Nothofagus obliqua*). Chile Forestal, Doc. Téc. N° 52. 8 p.
- Donoso, C. (1993). Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Ed. Universitaria. Santiago. 484 p.
- Donoso, C. & Lara, A. (1998). Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Ed. Universitaria. Valdivia, Chile. 421 p.
- Donoso, P., González, M., Escobar, B., Basso, I. & Otero, L. (1998). Viverización y plantación de Raulí, Roble y Coigüe en Chile. En: Donoso, C. & Lara, A. (Eds). Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Ed. Universitaria. Valdivia, Chile. Pp: 177-244.

- Donoso, P., González, M.E., Escobar, B., Basso, I. & Otero, L. 1999. Viverización de raulí, roble y coigüe en Chile. En: Donoso, C. & Lara, A. (Eds). Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Ed. Universitaria. Santiago. Pp: 177-244.
- Donoso, P., Muñoz, A., Thiers, O., Soto, D. & Donoso, C. (2011). Effects of aspect and type of competition on the early performance of *Nothofagus dombeyi* and *Nothofagus nervosa* in a mixed plantation. Canadian Journal of Forest Research, 41(5): 1075-1081. <https://doi.org/10.1139/x11-019>
- Donoso, P.J., Soto, D.P., Coopman, R.E. & Rodriguez-Bertos, S. (2013). Early performance of planted *Nothofagus dombeyi* and *Nothofagus nervosa* in response to light availability and gap size in a high-graded forest in the south-central Andes of Chile. Bosque, 34(1): 23–32. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000100004>
- Donoso, C. (2006). Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cuneo Ediciones. Valdivia, Chile. 678 p.
- Figueroa, J.A., León-Lobos, P., Cavieres, L.A., Pritchard, H. & Way, M. (2004). Ecofisiología de semillas en ambientes contrastantes de Chile: un gradiente desde ecosistemas desérticos a templado-húmedos. En: Marino Cabrera H. (Ed). Fisiología ecológica en plantas: mecanismos y respuestas a estrés en los ecosistemas. Ediciones Universidad Católica. Valparaíso. Pp: 81-98.
- Forestry Commission. (1957). Exotic forest trees in Great Britain. Bulletin N° 30. London.
- González, M.E., Veblen, T.T., Donoso, C. & Valeria, L. (2002). Tree regeneration responses in a lowland *Nothofagus*-dominated forest after bamboo die-back in south-central Chile. Plant Ecology, 161. Pp: 59–73. <https://doi.org/10.1023/A:1020378822847>
- González, M.E., Donoso, P.J. & Szejner, P. (2015). Tree-fall gaps and patterns of tree recruitment and growth in Andean old-growth forests in south-central Chile. Bosque, 36(3): 383-394. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300006>
- Grosse, H. 1988. Crecimiento de plantaciones con raulí y roble bajo dosel en dependencia del grado de luminosidad y fertilización. Ciencia & Investigación Forestal, 2(3): 13-30. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1988.53>
- Grubb, F.J. (1977). The maintenance of species richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. Biological Review. 52. Pp: 107-145. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1977.tb01347.x>
- Lin, N., Bartsch, N., Vor, T. (2014) Long-term effects of gap creation and liming on understory vegetation with a focus on tree regeneration in a European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest Ann. For. Res., 57(2): 233-246. <https://doi.org/10.15287/afr.2014.274>
- López, J. (1983). Algunos Antecedentes sobre Producción de Semillas y Técnicas de Vivero para Raulí. CONAF. Depto. Técnico. Región del Biobío. Boletín Téc. N° 1. 31 p.
- Marchelli P. & Gallo, L. (1999). Annual and geographic variation in seed traits of Argentinean Populations of southern beech *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. et Mil. Forest ecology and Management, 121(3): 239-250. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00004-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00004-3)
- Morris, D.W. (2003). Toward an ecological synthesis: A case for habitat selection. Oecologia, 136. Pp: 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1241-4>
- Müller-Using, S., Martin, M., Müller-Using, B., Rojas, Y., Siebert, H. & Uribe, J.L. (2014). Antecedentes y herramientas para la regeneración del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe. Informe Técnico N° 197.
- Muñoz, M. (1993). Algunos antecedentes sobre propagación de *Nothofagus*. Ciencia & Investigación Forestal, 7(2): 377-389. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1993.195>
- Murúa, R. & González, L.A. (1985). Producción de semillas de especies arbóreas en la pluviselva valdiviana. Bosque, 6(1):15-23. <https://doi.org/10.4206/bosque.1985.v6n1-02>
- Núñez, P. & Peñaloza, R. (1985). Estudio de raleo y otras técnicas para el manejo de renovales de Raulí (*Nothofagus alpina*) y Roble (*Nothofagus obliqua*). Informe de convenio N° 80. CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003. 109 p.
- Ordoñez, A. (1987). Germinación de las Tres Especies de *Nothofagus* Siempreverde (coigües) y Variabilidad en la Germinación de Procedencias de Coigüe Común (*Nothofagus dombeyi* (Mirb) Oerst) Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 134 p. + anexos.
- Pollmann, W. & Veblen, T.T. (2004). *Nothofagus* regeneration dynamics in south-central Chile: a test of a general model. Ecological Monographs, 74(4): 615-634. <https://doi.org/10.1890/04-0004>

- Quiroz, I., García, E., González, M., Lucero, A., Villarroel, A. & Soto, H. (2011). Evaluación y Análisis de los Métodos de Regeneración aplicados en el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe de la Precordillera de los Andes de las Regiones del Biobío y de la Araucanía. *INFOR*. 103 p.
- Reyes, J., Thiers, O., Gerding, V. & Donoso, P. (2014). Effect of scarification on soil change and establishment of an artificial forest regeneration under *Nothofagus* spp. in Southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(1): 115-127. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000009>
- Riveros, M., Palma, B., Erazo, S. & O'Reilly, S. (1995). Fenología y flujo de polen en especies del género *Nothofagus*. *PITón*, 57(1): 45-54.
- Rodríguez, R., Matthei, O. & Quezada, M. (1983). Libro Flora Arbórea de Chile. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Rodríguez, G. (1990). Propagación de *Nothofagus* chilenos por medio de Semillas. *Agro-Ciencia*, 6(2): 119-122.
- Schemske, D.W., Husband, B.C., Ruckelshaus, M.H., Goodwillie, C., Parker, I.M. & Bishop, J.G. (1994). Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology*, 75: 584-606. <https://doi.org/10.2307/1941718>
- Soto, D. & Puettmann, K. (2018). Topsoil removal through scarification improves natural regeneration in high-graded *Nothofagus* old-growth forests. *Journal of Applied Ecology*, 55(2): 967-976. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12989>
- Vázquez, D. (2002). Multiple effects of introduced mammalian herbivores in a temperate forest. *Biological Invasions* 4. Pp: 175-191. <https://doi.org/10.1023/A:1020522923905>
- Veblen, T.T. & Ashton, D.H. 1978. Catastrophic influences on the vegetation of the Valdivian Andes. *Vegetation*, 36. Pp: 149-167. <https://doi.org/10.1007/BF02342598>
- Veblen, T.T., Veblen, A.T. & Schlegel, F.M. (1979). Understory patterns in mixed evergreen- deciduous *Nothofagus* forests in Chile. *Jour. Ecol.*, 67. Pp: 809-823. <https://doi.org/10.2307/2259216>
- Veblen, T.T., Schlegel, F.M. & Escobar, B. (1980). Structure and dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in the Valdivian Andes, Chile. *Journal of Ecology*, 68. Pp: 1-31. <https://doi.org/10.2307/2259240>
- Veblen, T.T., Donoso, C., Schlegel, F.M. & Escobar, B. (1981). Forest dynamics in south- central Chile. *Jour. Biogeogr.*, 8. Pp: 211-247. <https://doi.org/10.2307/2844678>
- Veblen, T.T. (1982). Growth patterns of Chusquea bamboos in the understory of Chilean *Nothofagus* forests and their influences in forest dynamics. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 109. Pp: 474-487. <https://doi.org/10.2307/2996488>
- Veblen, T.T., & Donoso, C. (1987). Alteración natural y dinámica regenerativa de las especies chilenas de *Nothofagus* de la región de Los Lagos. *Bosque*, 8(2): 133-142. <https://doi.org/10.4206/bosque.1987.v8n2-09>
- Veblen, T.T., Donoso, C., Kitzberger, T. & Rebertrus, A.J. (1996). Ecology of Southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forests. In: Veblen, T.T., Hill, R.S. & Read, J. (Eds). *The ecology and biogeography of Nothofagus forests*. Yale University Press. London. Pp: 293-353.
- Werner, J. (1987). Determinación de Periodos Óptimos de Estratificación para Semillas de Diferentes Procedencias de Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oerst) Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 123 p.
- Zamorano-Elgueta, C., Cayuela, L., Rey-Benayas, J.M., Donoso, P.J., Geneletti, D. & Hobbs, R. (2014). The differential influences of human-induced disturbances on tree regeneration community: a landscape approach. *Ecosphere*, 5(7): 1-17. <https://doi.org/10.1890/ES14-00003.1>