



---

ARTÍCULO

## De coligual a bosque: una contribución a la mitigación del cambio climático.

Heidi Böttcher Jorquera<sup>1</sup>; Sabine Müller-Using Wenzke<sup>1\*</sup> & Yasna Rojas Ponce<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Forestal, sede Los Ríos. Valdivia, Chile. [hbottcher@infor.cl](mailto:hbottcher@infor.cl); [smuller@infor.cl](mailto:smuller@infor.cl); [yrojas@infor.cl](mailto:yrojas@infor.cl)

\*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.596>

Recibido: 26.10.2023; Aceptado 20.11.2023.

---

### RESUMEN

Una de las estrategias de mitigación para enfrentar el cambio climático corresponde a la restauración de ecosistemas boscosos degradados. En el centro sur de Chile es frecuente que estos ecosistemas estén cubiertos completamente por bambusáceas, lo que significa un desafío para su recuperación. El presente estudio evalúa una experiencia de restauración de un área de 0,2 ha en Panguipulli, tras un evento masivo de floración de *Chusquea culeou* (colihue), y la analiza bajo la mirada de una iniciativa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+). Se analiza el crecimiento y sobrevivencia de las especies plantadas, y el establecimiento y desarrollo de regeneración natural, al igual que la dinámica de *Chusquea culeou* durante un período de 10 años.

**Palabras clave:** *Nothofagus obliqua*, plantación, restauración, REDD+

### SUMMARY

One of the mitigation strategies to face climate change corresponds to the restoration of degraded forest ecosystems. In south-central Chile it is common for these ecosystems to be completely covered by bamboo, which represents a challenge for their recovery. The present study evaluates a restoration experience of an area of 0.2 ha in Panguipulli, after a massive *Chusquea culeou* flowering event, and analyzes it from the perspective of a Reducing Emissions from Deforestation and Degradation (REDD+) initiative. The growth and survival of the planted species, and the establishment and development of natural regeneration, as well as the dynamics of *Chusquea culeou* over a period of 10 years, are analyzed.

**Key words:** *Nothofagus obliqua*, plantation, restoration, REDD+

---

## INTRODUCCIÓN

La restauración de ecosistemas boscosos es una de las estrategias de mitigación para enfrentar el cambio climático. En la actualización de la Contribución Nacional Determinada, Chile se comprometió al manejo sustentable y recuperación de 200.000 hectáreas de bosque nativo al año 2030 y a la reducción de las emisiones por degradación y deforestación de bosque nativo en un 25% al 2030, compromiso que se enmarca en la iniciativa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+). En este contexto, la recuperación de bosque nativo considera un conjunto de conocimiento y técnicas orientadas a recuperar, establecer y restaurar la capacidad y funcionalidad de los bosques nativos degradados.

Chile ha definido en el marco de REDD+ que los bosques degradados son aquellos donde se redujo el contenido de carbono por acción antrópica, sin haber provocado un cambio de uso de suelo, con una intensidad tal, que hace recomendable el cese de la actividad silvícola regular en ellos y que requiere una inversión adicional para la permanencia y resiliencia del bosque (CONAF, 2016).

El enfoque principal de REDD+ es generar un aumento en las capturas de carbono del sector silvoagropecuario (Brockhaus & Angelsen, 2012), pero también constituye un incentivo a generar mejoras en cuanto a la biodiversidad en bosques degradados. Es así que las acciones que se realicen en bosques degradados no deben ir en contra de la biodiversidad, si no por el contrario, promover la conservación de bosques (Murray & Jones, 2014). Para ello, se definen salvaguardas, que corresponden a un requisito mínimo para todos los países que participan de REDD+ con el fin de evitar el daño perverso e involuntario a la biodiversidad de los bosques (Phelps *et al.*, 2012). De este modo, la conservación y el aumento de la biodiversidad a través de acciones de restauración son considerados un cobeneficio de REDD+, adicional a los beneficios de carbono obtenidos.

En Chile, la metodología usada para definir que un bosque se encuentra degradado está basada en la densidad del bosque en relación a la densidad máxima que podría alcanzar (*stocking* en inglés) (Bahamondez *et al.*, 2009). La herramienta usada para esta definición son los diagramas de densidad según Gingrich (1967), elaborados en base a los datos del Inventario Forestal Nacional (INFOR, 2020) para cada tipo forestal. El umbral que permite identificar la degradación corresponde a la línea de cierre de copa, la cual representa el límite en el que los árboles son capaces de ocupar completamente la capacidad del sitio. Si el bosque se encuentra bajo este umbral, se considera degradado. De acuerdo a la relación *Nivel de Referencia de emisiones Forestales / Nivel de Referencia Forestal Nacional*, Chile tiene una superficie degradada de 1,29 millones de hectáreas entre los años 2001 y 2010 distribuidas entre Coquimbo y Magallanes (CONAF, 2023).

En el centro sur de Chile es frecuente que las áreas boscosas que se encuentran por debajo de la línea de degradación estén cubiertas completamente por las especies bambusáceas nativas *Chusquea quila* (quila) y/o *Chusquea culeou* (colihue). Esto se refleja en las pautas alternativas al diagrama de densidad, que se han desarrollado para definir la degradación en bosques. En efecto, dos de las tres categorías de degradación que definen Muñoz *et al.* (2018) se caracterizan por una abundante presencia de bambusáceas. También Vázquez-Grandón *et al.* (2018) atribuyen gran importancia a estas especies en su pauta preliminar para reconocer un bosque degradado.

La alta densidad y la gran vitalidad de las especies del género *Chusquea* en situaciones de bosque degradado representan un considerable desafío silvícola para la restauración del mismo (Veblen, 1982; González *et al.*, 2002). En la Región de Los Ríos, donde se sitúa el presente estudio, se han probado distintos métodos para regenerar y/o restaurar bosque en esas condiciones. Una opción ha sido la eliminación de la capa superior del suelo, removiendo los rizomas de las especies de *Chusquea* y exponiendo el suelo mineral para una mejor germinación de las especies del género *Nothofagus* (Soto & Puettmann, 2018). Otras experiencias han generado fajas en la quila (*Chusquea quila*) para plantar especies arbóreas como roble (*Nothofagus obliqua*), raulí (*Nothofagus alpina*) y ulmo (*Eucryphia cordifolia*) (Pilquinao, 2020; Ipinza, 2021). Este segundo método requiere un cuidado intenso posterior a la plantación, liberando al menos una vez al año las especies plantadas de la competencia de las bambusáceas.

En las especies del género *Chusquea* la floración ocurre de forma simultánea en grandes extensiones, y asociado a esta floración se produce el secado de sus tallos y hojas, situación que brinda una condición propicia para realizar faenas con menor esfuerzo y en forma menos intensiva. Según una recopilación bibliográfica, realizada por Holz & Palma (2012), la periodicidad de floración en Chile y Argentina es variable y ocurre en intervalos de 15 – 70 años. Tras ella las plantas demoran varios años en repoblar nuevamente la superficie.

El presente estudio evalúa una experiencia de restauración de un área de 0,2 ha en Panguipulli, donde el colihue (*Chusquea culeou*) floreció en el verano 2000-2001 (Jaksic y Lima, 2003). Con posterioridad a la floración, en la superficie indicada se realizó una plantación de roble y raulí, en baja densidad, la cual fue monitoreada por un período de 16 años. Las principales preguntas que se abordan en el presente estudio son: ¿Cómo se desarrolla una plantación de roble/raulí de baja densidad en un área dominada por colihue después de su floración?; ¿Qué comunidad vegetal complementaria se genera de forma natural en esta situación?; ¿Cuánto tiempo demora el área degradada en recuperarse en el contexto de REDD+?; y ¿Cuál es la diversidad de especies del rodal resultante?

## MATERIAL Y MÉTODO

El área de estudio se encuentra en la comuna de Panguipulli, región de Los Ríos, en concreto en el predio Millahue, ubicado en las coordenadas 39°40'58.40"S 72°22'14.11"O, donde se experimenta un clima de tipo templado lluvioso (**Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Temperatura media anual y precipitación media anual de las estaciones meteorológicas Panguipulli y Pichoy.

|                              | T media anual<br>(°C) | Pp media anual<br>(mm) |
|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Panguipulli (últimos 3 años) | 11,3                  | 1.265                  |
| Pichoy (últimos 3 años)      | 11,1                  | 1.239                  |
| Pichoy (últimos 30 años)     | 11,7                  | 1.684                  |

Las precipitaciones en Panguipulli y Pichoy durante en los últimos 3 años son similares entre sí y menores al promedio anual registrado en Pichoy (estación más cercana de la Dirección Meteorológica de Chile) durante los últimos 30 años. El régimen de humedad se caracteriza por precipitaciones anuales que rodean los 1.200 mm, con altos excedentes de humedad para el consumo de la vegetación. Respecto a la humedad estival, el balance hídrico es equilibrado entre precipitaciones y evapotranspiración potencial y la humedad del aire es moderada (55-70%) (Pinilla, 2004).

Las condiciones edáficas son de suelos trumaos o de cenizas volcánicas, de textura franca en la superficie y franco arenosa a franco arcillosa en profundidad. La densidad aparente es media a baja y la porosidad total es alta (*op. cit.*)

Según la clasificación de Navarro *et al.* (2014), el bosque circundante corresponde a la estación forestal Lingue – Roble con tolerantes siempreverdes. Esta estación considera la presencia de especies intolerantes en estado maduro (roble, colihue (*Nothofagus dombeyi*)), y reconoce la presencia de especies siempreverdes (ulmo, laurel (*Laurelia sempervirens*)) tanto en los doseles superiores – de forma parcial - como en los inferiores (Martínez, 2009). Esta combinación de especies da cuenta de un bosque que en su sucesión transita hacia la estación de Bosque Siempreverde.

Dentro del bosque adulto se encuentra un área de 1.975 m<sup>2</sup> (79 m x 25 m) sin vegetación arbórea y que al año 2001 estaba cubierta completamente de colihue (*Chusquea culeou*). Tras la floración de este colihue y su posterior muerte, se abrieron fajas y se estableció en el año 2006 una plantación de roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*). Las plantas establecidas tuvieron una altura de aprox. 30 cm y un distanciamiento entre sí de 3 x 5 metros (666 arb/ha). Se llevaron a cabo acciones de limpia durante los dos años siguientes al establecimiento de la plantación.

### Toma de Datos

Entre los años 2011 y 2022, anualmente se midió el crecimiento en altura, diámetro a la altura del cuello (DAC) y diámetro a la altura del pecho (DAP, cuando correspondió) de todos los individuos de las especies plantadas (roble y raulí). Además, se trazó dos transectos perpendiculares que cruzan completamente la plantación, sobre ellos se estableció nueve parcelas de regeneración de 4m<sup>2</sup> (2m x 2m). En cada una de estas parcelas se evaluó la presencia y abundancia de regeneración, tanto arbórea como no arbórea. Anualmente se midió la presencia de regeneración arbórea y arbustiva, identificando la especie en la mayoría de ellos (en algunos casos solo el género) y se clasificó según estratos. Para este efecto se utilizó los estratos que considera también el Inventario Forestal Nacional (Martin, 2009), presentados en el **Cuadro 2**.

**Cuadro 2.** Clasificación de estratos de regeneración según altura y DAP

| Variable   | Estrato 1 | Estrato 2  | Estrato 3  | Estrato 4 |
|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| Altura (m) | 0 - 0,5   | 0,51 - 1,0 | 1,01 - 1,3 | > 1,3     |
| DAP (cm)   | -         | -          | -          | <4        |

(Fuente: Martin, 2009)

### Análisis de Datos

Los datos se procesaron mediante Excel, y se generaron tablas de rodal y existencia para las especies roble y raulí. Para la regeneración natural se analizó el establecimiento en general y se analizaron las existencias según estrato de altura.

### Estimación de Volumen

Para la evaluación silvícola de la plantación se estimó el volumen de los árboles plantados (roble y raulí), utilizando la función de volumen desarrollada por Barría (1996) para un rodal de roble-raulí de 16 años de edad (Expresión 1):

$$\ln(V) = -9,915425 + 0,939798 * \ln(H * DAP^2) \quad (1)$$

Donde;

V : Volumen en m<sup>3</sup>,

H : Altura en m,

DAP : Diámetro del fuste a 1,3 metros de altura en cm

### Índices de Biodiversidad

Para determinar el cumplimiento del criterio de mantención de la biodiversidad que consideran las acciones de REDD+, se analizó la biodiversidad de las especies utilizando el índice de Shannon (Shannon y Weaver, 1949) (Expresión 2)

$$H = - \sum_{i=1}^S \pi_i \ln \pi_i \quad (2)$$

Donde;

$\pi_i$ : Proporción de cada especie en una población.

S: Número total de especies.

## RESULTADOS

### Situación Inicial de la Plantación

Al momento de iniciar el monitoreo de la plantación en el año 2011 la plantación tenía 5 años. En el Cuadro 3 se muestra su densidad, altura y diámetro.

**Cuadro 3.** Plantación al inicio del monitoreo, con 5 años de edad.

| Parámetros      | Raulí<br>( <i>N. alpina</i> ) | Roble<br>( <i>N. obliqua</i> ) | Total |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| Densidad (n/ha) | 284                           | 375                            | 658   |
| DAC (cm)        | 3,29                          | 3,02                           | 3,14  |
| H (m)           | 3,53                          | 2,59                           | 3,00  |

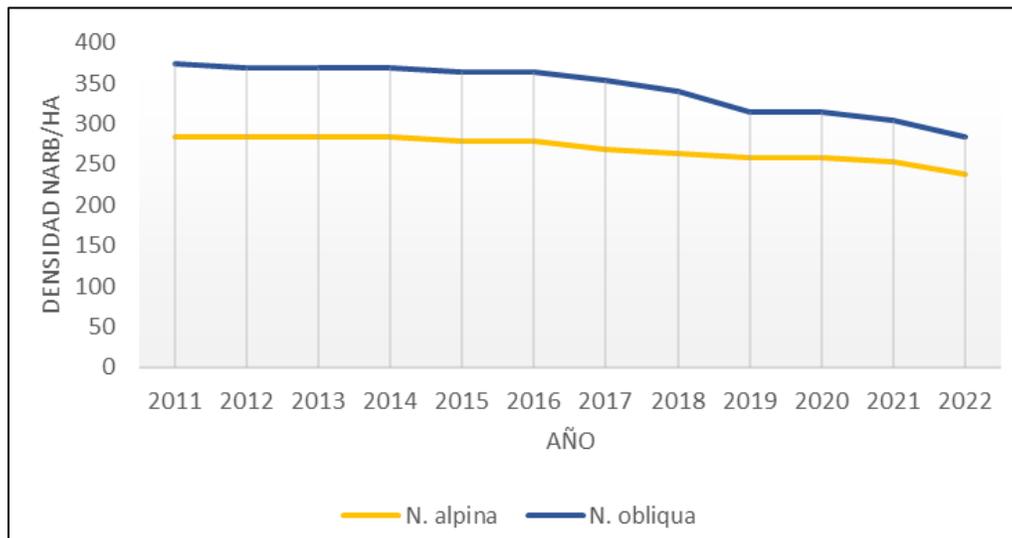
La diversidad de especies presentes en el área al momento de inicio del monitoreo (2011) y sus respectivas densidades por hectárea se encuentran especificadas en el **Cuadro 4**.

**Cuadro 4.** Especies presentes en la regeneración natural en el año 2011, al inicio del monitoreo.

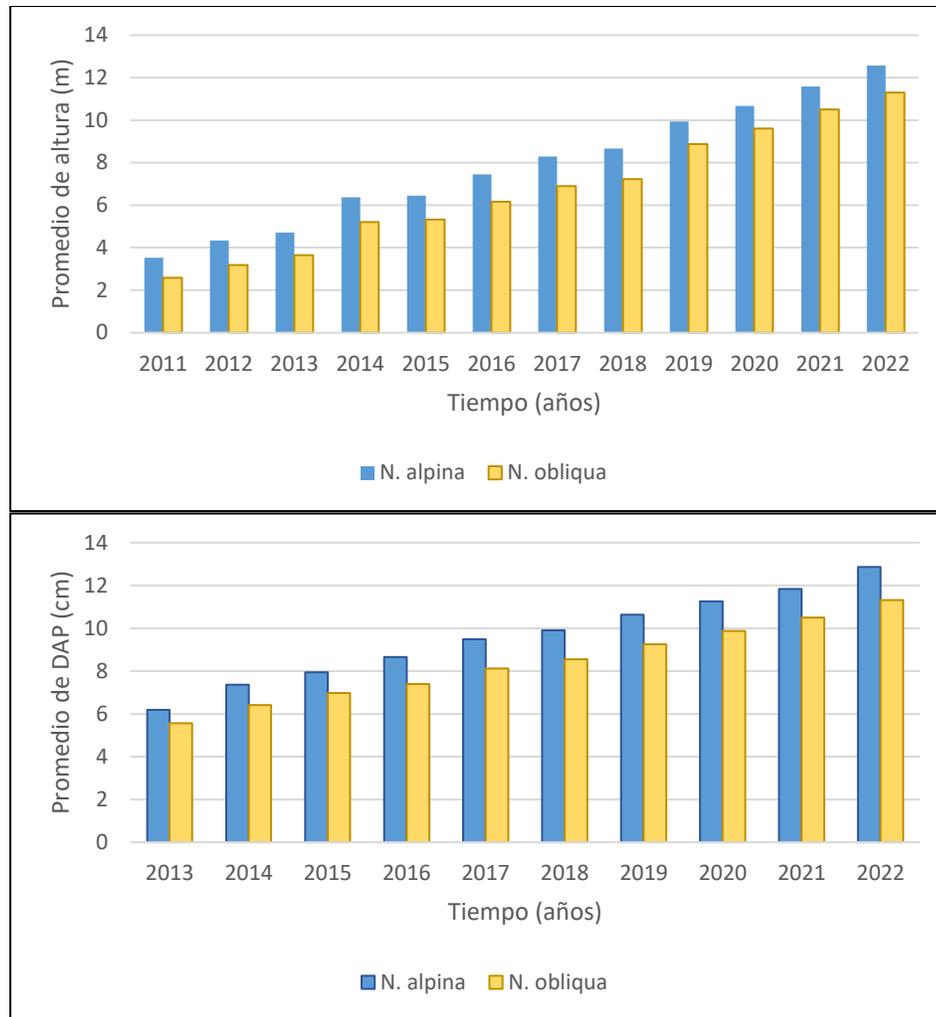
|                | Especie   | Densidad (N/ha) |
|----------------|---|-----------------|
| Reg. arbórea   | Luma ( <i>Amomyrtus luma</i> )  | 556             |
|                | Ulmo ( <i>Eucryphia cordifolia</i> )  | 8.056           |
| Reg. arbustiva | Maqui ( <i>Aristotelia chilensis</i> )  | 833             |
|                | Matico ( <i>Buddleja globosa</i> )  | 278             |
|                | Zarzaparrilla ( <i>Ribes magellanicum</i> )   | 278             |
|                | Chupalla ( <i>Fascicularia bicolor</i> )  | 556             |
| Otros          | <i>Chusquea spp.</i>  | 30.833          |
|                | Enredadera ( <i>Boquila trifoliolata</i> , <i>Cissus striata</i> , <i>Campsidium valdivianum</i> , <i>Elytropus chilensis</i> ) | 23.333          |

### Monitoreo Silvícola de la Plantación

El crecimiento de la plantación en altura y diámetro ha sido constante a través de los 11 años de monitoreo, con un crecimiento medio anual de 0,39 m<sup>2</sup>/ha en área basal. La mortalidad ha sido de un 21%. La **Figura 1** muestra la supervivencia durante el periodo estudiado. Se observa que la supervivencia ha sido levemente mayor en raulí que en roble. Respecto al crecimiento, la **Figura 2** muestra la evolución de la altura y el DAP para cada especie, observándose que raulí supera levemente a roble en ambas variables.



**Figura 1.** Supervivencia de raulí (*N. alpina*) y roble (*N. obliqua*) en el periodo estudiado.



**Figura 2.** Crecimiento de altura (arriba) y diámetro (abajo) para las plantas de raulí (*N. alpina*) y roble (*N. obliqua*) entre 5 y 16 años después de la plantación.

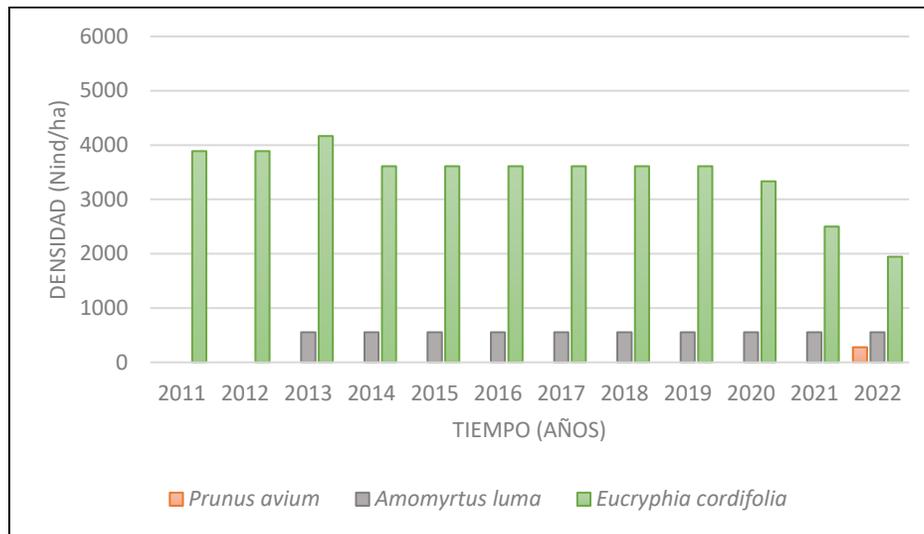
Para facilitar el análisis del crecimiento en comparación con otras plantaciones, en el **Cuadro 5** se resumen los datos de rodal al final del periodo de monitoreo.

**Cuadro 5.** Plantación al año 2022.

| Parámetros                   | Raulí | Roble | Total        |
|------------------------------|-------|-------|--------------|
| Densidad (arb/ha)            | 238   | 284   | <b>522</b>   |
| DAP (cm)                     | 12,86 | 11,32 | <b>12,05</b> |
| H (m)                        | 12,57 | 11,29 | <b>11,88</b> |
| Volumen (m <sup>3</sup> /ha) | 22,01 | 16,78 | <b>38,79</b> |

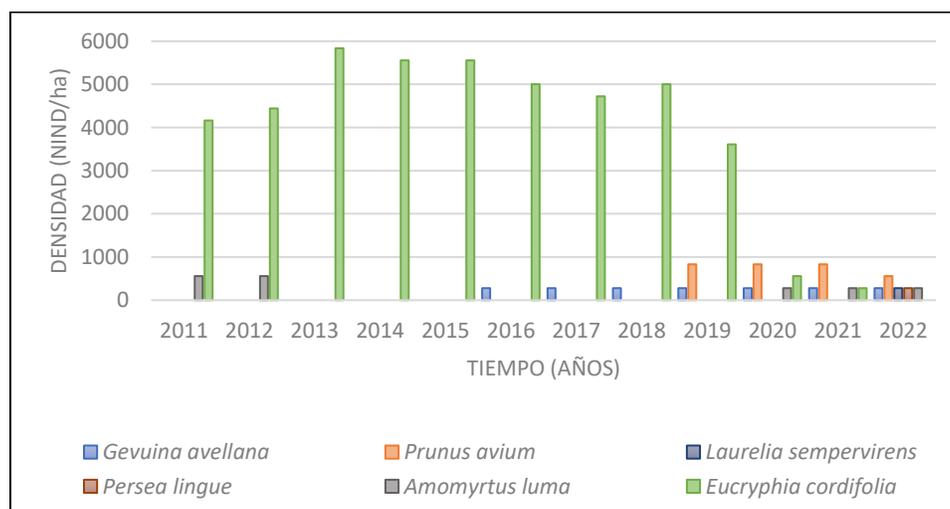
### Regeneración Natural

En complemento a la plantación de roble y raulí se estableció regeneración natural de forma espontánea. La **Figura 3** muestra la densidad de tal regeneración de los estratos 3 y 4 (> 1 m) para especies arbóreas. Se aprecia que su densidad supera ampliamente a la de los árboles plantados.



**Figura 3.** Regeneración natural establecida (> 1 de altura, estratos 3 y 4) a lo largo del periodo estudiado.

La diversidad de especies en la regeneración mayor a un metro de altura se ve representada principalmente por dos especies, ulmo (*E. cordifolia*) y luma (*A. luma*), apareciendo en el último año de monitoreo algunos cerezos (*P. avium*). Esta leve tendencia de aumento de diversidad en el tiempo, se confirma al considerar la regeneración con alturas menores a 1 m. En estos estratos (3 y 4) aparecen cinco especies en el año 2022, y ulmo pierde la predominancia que había mantenido hasta el año 2019 (**Figura 4**).



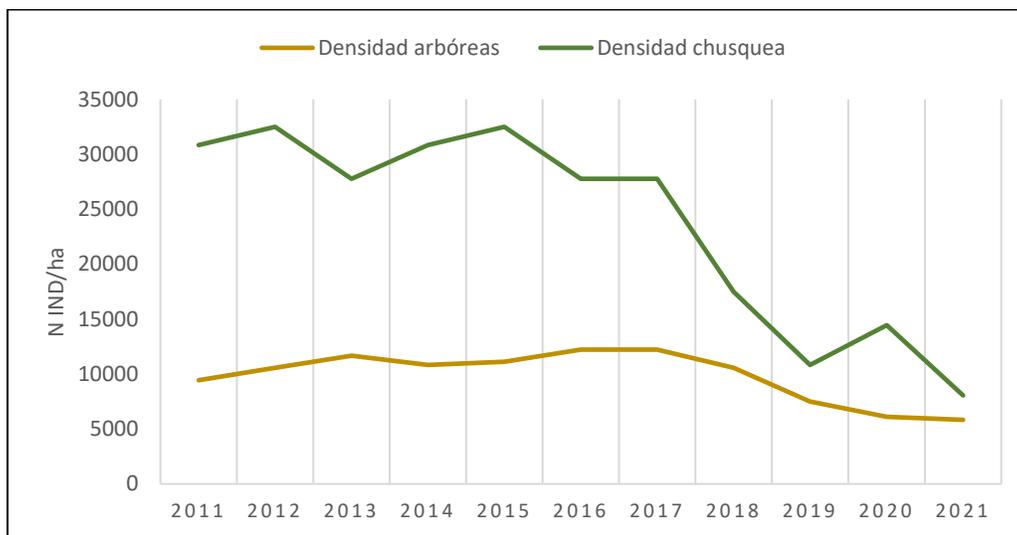
**Figura 4.** Regeneración natural establecida estratos inferiores (< 1 m de altura, estratos 1 y 2) a lo largo del periodo estudiado.

En el estrato arbóreo (> 1,3 m y DAP > 4 cm), se registró un reclutamiento de 55 árboles por hectárea a partir de regeneración natural, conformada en su totalidad por la especie ulmo.

### Vegetación Competidora

Dado que el rodal estudiado se instaló sobre un área cubierta completamente de *Chusquea culeou*, el cual había florecido y decaído, se observó también su desarrollo posterior a la plantación. La **Figura 5** muestra las tendencias en densidad que presentó el colihue y la regeneración natural de especies arbóreas durante el periodo estudiado.

La especie más importante en cuanto a densidad desde el comienzo del periodo de monitoreo fue *Chusquea culeou*, sin embargo, desde el año 2019, esta redujo su presencia en el rodal. Una causa podría ser la sombra generada por los árboles plantados, que al año 2019 ya alcanzaban entre 9 y 10 m de altura.



**Figura 5.** Densidad de colihue (*Chusquea culeou*) y de la regeneración de especies arbóreas durante el período de monitoreo (2011-2022). No se tuvieron datos del año 2014.

En cuanto a la inhibición de la plantación por el colihue preexistente, los datos presentados sugieren que no hay una relación entre la densidad de *Chusquea* y sobrevivencia de las plantas. Sin embargo, la baja en la densidad de *Chusquea* coincide con el aumento de diversidad de especies en la regeneración natural arbórea (**Figura 4**).

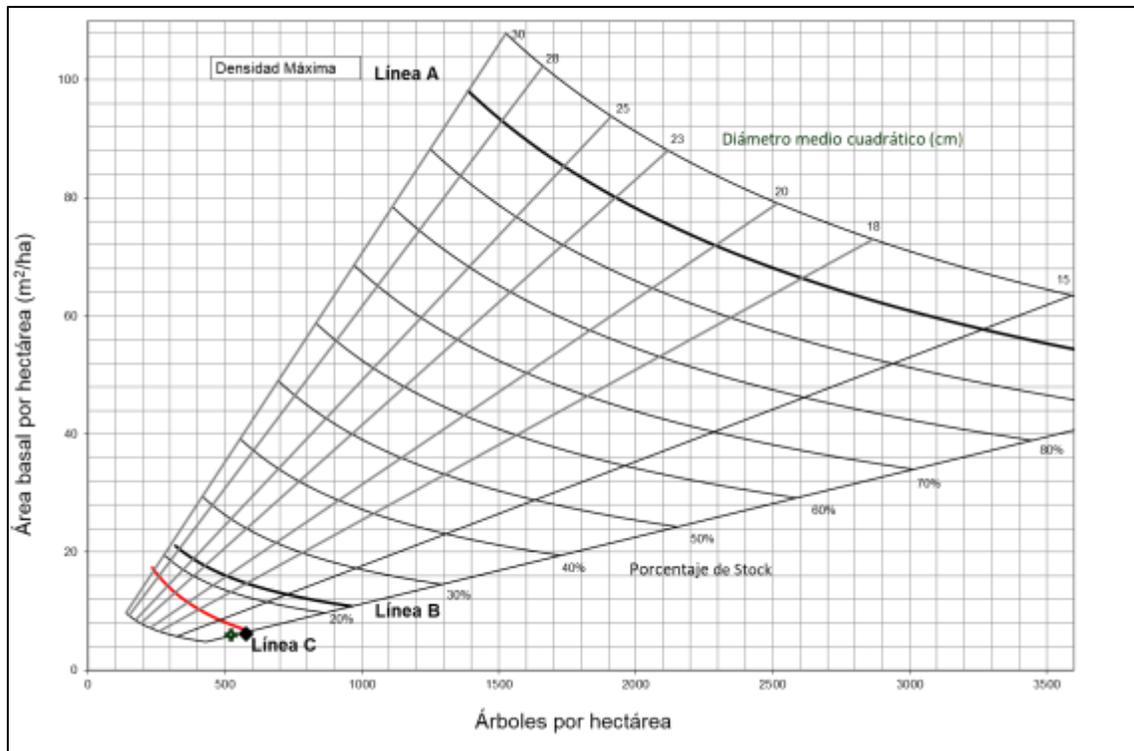
### La Plantación como Herramienta de Mitigación

La plantación de especies arbóreas permite que un área boscosa acumule carbono, por lo cual se puede considerar una herramienta de mitigación del cambio climático. En el caso de un bosque degradado, es posible evaluar esta recuperación en función del tiempo que tarda en superar los umbrales que definen la degradación. En Chile, en el contexto de REDD+, el diagrama de densidad de Gingrich es la herramienta usada con este fin.

Para el sitio estudiado se tiene que la línea B (**Figura 6**) representa el límite de densidad en el cual los árboles son capaces de ocupar completamente la capacidad del sitio. Se considera que bajo este umbral

el bosque se encuentra subutilizando el sitio. La línea C, en tanto, define que el bosque en un período de 10 años podría superar el umbral de degradación solo por su crecimiento.

Considerando solo la plantación de roble y raulí (representada por la cruz en la **Figura 6**), el rodal estudiado se encuentra bajo las líneas B, y C, es decir, a una edad de 16 años de la medida de recuperación, el rodal no ocupa completamente la capacidad del sitio aún se considerado como un bosque degradado y faltan más de 10 años para que la plantación pueda alcanzar una densidad por encima del límite de degradación (línea B). Sólo una vez alcanzado este punto, el bosque estudiado podrá entrar en categoría de aumento de las existencias de carbono por recuperación de bosques degradados.



**Figura 6.** Diagrama de densidad de Gingrich para el tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe (Bahamóndez *et al.*, 2009) con línea cobertura completa (línea B) y los datos de la plantación al año 2022 (con 18 años).

Si además de la plantación se considera la regeneración que acompaña a la plantación (rombo en la **Figura 6**) se observa que el aporte aún es pequeño, adelantando el alcance de la línea C. A medida que aumente la regeneración natural que alcanza el estrato arbóreo (DAP > 4cm), esta cobrará más importancia como complemento de la plantación, permitiendo que se acelere la superación de los umbrales de degradación del rodal.

### Biodiversidad

En Chile no existe una línea base de biodiversidad para las salvaguardas consideradas en el mecanismo REDD+. Sin perjuicio de lo anterior, en este estudio se realiza el análisis del desarrollo de la biodiversidad y se revisa si la restauración cumple el requisito de no disminuir la biodiversidad del estrato arbóreo en relación al bosque de referencia. Como bosque de referencia se considera en este caso el bosque

circundante que tiene características de bosque maduro y de poca intervención (Müller-Using & Ulloa, 2008).

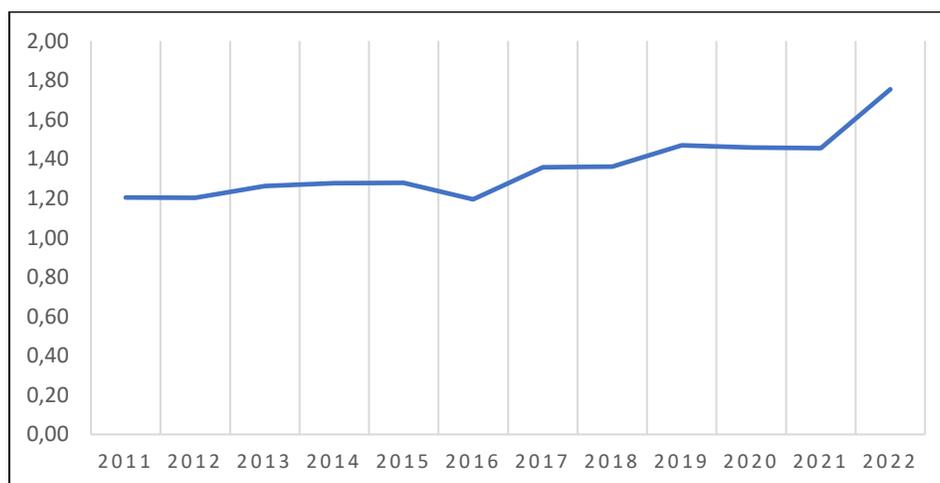
Las especies encontradas en el área al año 2022 se encuentran detalladas junto a su densidad en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Especies presentes en la regeneración natural en el año 2022 y su densidad.

|                | Especie                                  | Densidad (N/ha) |
|----------------|--|-----------------|
| Reg. arbórea   | Avellano ( <i>Gevuina avellana</i> )     | 278             |
|                | Laurel ( <i>Laurelia sempervirens</i> )  | 278             |
|                | Luma ( <i>Amomyrtus luma</i> )           | 833             |
|                | Ulmo ( <i>Eucryphia cordifolia</i> )     | 1.944           |
|                | Guindo ( <i>Prunus avium</i> )           | 833             |
|                | Lingue ( <i>Persea lingue</i> )          | 278             |
| Reg. arbustiva | Maqui ( <i>Aristotelia chilensis</i> )   | 1.389           |
|                | Chupalla ( <i>Fascicularia bicolor</i> ) | 278             |
| Otros          | <i>Chusquea sp.</i>                      | 8.056           |
|                | Enredadera                               | 5.278           |

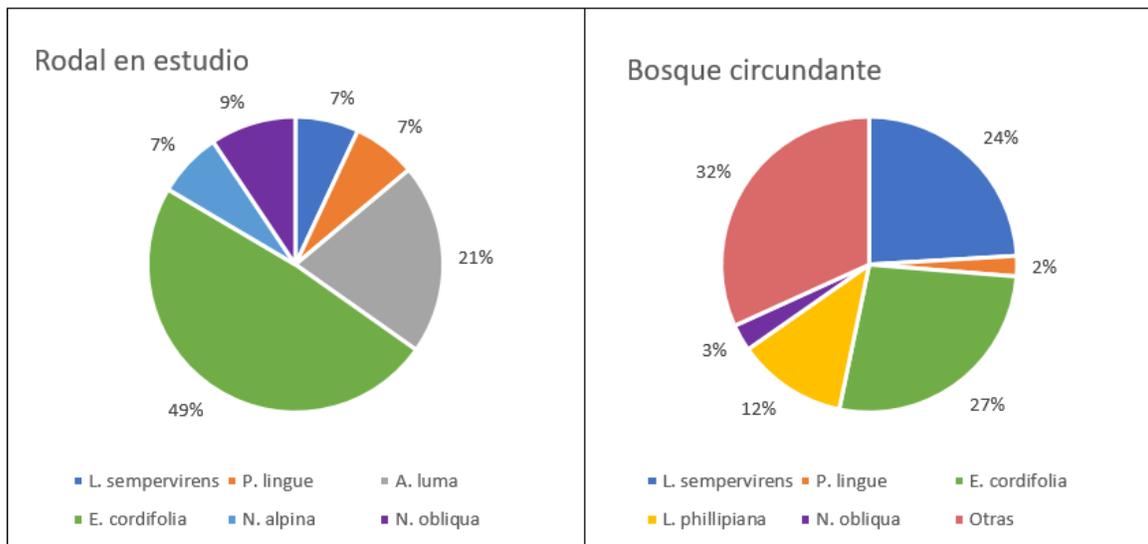
En el período de observación (2011-2022), la diversidad de especies arbóreas ha aumentado de 2 a 6 especies. Las especies arbustivas, en cambio, han decrecido a lo largo del periodo de monitoreo. Las especies matico (*Buddleja globosa*) y zarzaparrilla (*Ribes magellanicum*) dejan de estar presentes en el rodal, lo cual podría deberse a sus altas necesidades lumínicas e incapacidad de equiparar en altura a las especies arbóreas. Distinto es el caso del maqui (*Aristotelia chilensis*) el cual ha logrado permanecer en el rodal.

El índice de biodiversidad de Shannon muestra un aumento moderado, pero constante en la biodiversidad desde el comienzo del monitoreo (Figura 7). El aumento de biodiversidad en el periodo entre el año 2021 y 2022 coincide con la aparición de nuevas especies en la regeneración arbórea.



**Figura 7.** Biodiversidad según el índice de Shannon para el rodal estudiado según tiempo.

Para comparar la biodiversidad del rodal en restauración con la del ecosistema de referencia, la **Figura 8** muestra la diversidad de especies tanto en el rodal en estudio, como en el bosque circundante.



**Figura 8.** Proporción de especies arbóreas en el rodal en estudio y en el bosque circundante.

De la comparación entre rodales se desprende que ulmo es una especie importante en ambos. Además, se encuentra en ambos rodales una preponderancia de especies semi tolerantes. Sin embargo, en el bosque circundante no se encuentra en forma natural raulí, especie que no es autóctona del lugar y que forma parte del rodal restaurado debido a la plantación. Roble es más frecuente en el rodal restaurado que en el circundante.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Regeneración Silvícola

La plantación analizada en el presente estudio tiene un desarrollo muy inferior al de otra plantación de roble (*N. obliqua*) realizada en una pradera del mismo predio, experiencia publicada por Müller-Using *et al.* (2020). A la misma edad, dicha plantación de roble supera en un tercio la altura y diámetro alcanzados por la plantación que aquí se analiza. En esta comparación hay que considerar que el rodal que muestra mayor crecimiento, a los 16 años, ya había sido raleado. Sin embargo, esto no explica la gran diferencia. Es posible que la competencia de *Chusquea*, que fue abundante en la plantación en años tempranos, haya ralentizado el crecimiento de la plantación. Otros factores a tener en cuenta y que pueden haber dificultado el crecimiento son la cercanía del bosque adulto que genera sombra sobre el área, y el pequeño tamaño de las plantas al momento de la plantación. Muñoz y Gonzalez (2009) observan que roble no regenera bien en claros pequeños (menores a 1.000 m<sup>2</sup>). Sin embargo, plantaciones de roble en hoyos de luz entre 400-700 m<sup>2</sup> en el mismo sitio, si han sido exitosas, aunque a partir de plantas grandes y con un crecimiento lento (Molina *et al.*, en preparación).

Otro antecedente que apoyaría la hipótesis del efecto de la sombra lateral, es que raulí presentó la mitad de la mortalidad de roble. Esto se condice con su preferencia por coberturas de copa de 10 a 40% (Müller-Using *et al.*, 2014) y con su condición de especie semi-tolerante (Donoso, 2006).

La especie más exitosa en la regeneración natural fue ulmo, la cual no se ha visto inhibida por el rebrote de *Chusquea*. Ya se han tenido experiencias similares en bosque antiguo siempreverde, donde posterior a la floración de *Chusquea*, los rebrotes de raíces de ulmo fueron los que aprovecharon más exitosamente los recursos disponibles asociados al secado de la bambusácea (Muñoz & González, 2009). La condición de semi-tolerante de ulmo (Donoso, 2006) es un factor que explica su éxito, sin embargo, sus estrategias reproductivas también pueden ser un factor crítico, puesto que la mayoría de los individuos establecidos de ulmo fueron rebrotes de raíces, tanto en el presente estudio como en experiencias similares (Muñoz & González, 2009; Escandón *et al.*, 2013). En esta especie los rebrotes de raíces presentan mayor supervivencia en regeneración y un rango mayor de tolerancia a la sombra (Escandón *et al.*, 2013).

La comunidad de especies que se está estableciendo comparte características y tendencias generales con el bosque circundante (Müller-Using & Ulloa, 2008), pero está enriquecida con especies de interés silvícola como raulí, que fue plantado, y al mismo tiempo carece de especies como tepa (*Laureliopsis philippiana*), que está presente en el bosque antiguo por su condición de especie tolerante, pero aún no aparece como regeneración en el sitio del presente estudio.

### Vegetación Competidora

Fuera de la especie ulmo, las especies arbóreas presentes no han presentado establecimientos densos ni crecimientos importantes en comparación a otras situaciones de regeneración post disturbio, como talas rasas o cortas de árbol semillero (Donoso *et al.*, 2019). Veblen (1982) indica que existe un efecto inhibitor por parte de colihue en el crecimiento de vegetación arbórea, dada la escasez de luz bajo el sotobosque de esta especie y la competencia por otros recursos asociados al espacio. En el caso del presente estudio, no se tuvo evidencia de tal efecto, puesto que la densidad de especies arbóreas no aumenta en ausencia de colihue, si no que disminuye con ella a lo largo del periodo, tendencia que ya se ha visto en otras experiencias (González *et al.*, 1997).

### Restauración y Contabilidad de Carbono

Una alternativa a la restauración activa a través de la plantación es la restauración pasiva o regeneración natural. En el caso estudiado, la combinación de ambas puede considerarse exitosa, con 577 árboles en el estrato arbóreo y más de 2500 plantas de ulmo mayores a 1 m de altura en la regeneración. En términos de recuperación del área sobre los umbrales de degradación definidos en el contexto de REDD+, esto aún no fue logrado. A pesar de ello, es una alternativa que tiene la ventaja de ser extensiva con una plantación de baja densidad, como plantación suplementaria, y solo dos limpieas posteriores a su establecimiento. Si bien la regeneración natural demora en instalarse, una vez presente puede ser un aporte considerable cuando el objetivo es superar el umbral de degradación. Se prevé que esto suceda de forma súbita, puesto que cuando la generación de individuos que al año 2022 estaban aún fuera de la contabilidad de carbono alcance las dimensiones necesarias para entrar en ella, se generará un salto en dirección hacia la línea B de degradación (Figura 6).

Las metas del país en materia de mitigación al cambio climático, buscan llegar a la carbono-neutralidad en el 2050, en este contexto, sería conveniente contar con un análisis para evaluar la cantidad de bosque que se encuentra en estado de degradación con características similares a la situación inicial de este estudio, es decir, invadido por quila y/o colihue, para ver la oportunidad de plantar durante la floración de esta. Si la meta es al 2050, es posible evaluar el costo de oportunidad de invertir recursos adicionales para mejorar los periodos de recuperación, ya sea con una mayor densidad de plantas y aumento de limpieas en el terreno posterior al establecimiento, versus esperar, los cerca de 26 años que indica este estudio para que se logre mejorar las existencias de carbono.

### Biodiversidad

Los resultados obtenidos indican un aumento en la biodiversidad y en la diversidad de especies arbóreas (2 a 6) del rodal. Muñoz y Gonzalez (2009) señalan que la proporción de las especies arbóreas en otra experiencia después de 10 años de floración de especies de *Chusquea* no varió significativamente. La restauración ecológica es una actividad que tiene como objetivo la recuperación de atributos de un

ecosistema histórico o previo a una alteración (Bannister et al., 2016). Para efectos del presente estudio, se utilizó la biodiversidad como uno de los atributos que se buscó retornar a las condiciones previas a la invasión de las especies de *Chusquea*, representado aquí mediante el bosque antiguo (**Figura 8**). La Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) de Chile considera la biodiversidad como un cobeneficio de los proyectos relacionados a aumentar la captura de carbono en ecosistemas forestales (CONAF, 2016), sin embargo, persiste el desafío de considerar el monitoreo de algún índice de biodiversidad en los proyectos de restauración.

Se debe incluir indicadores de biodiversidad en los proyectos de restauración que se llevan a cabo en el marco de la ENCCRV, de modo de obtener efectivamente información respecto al cumplimiento de este cobeneficio, el cual como deja en claro el presente estudio, se ve favorecido positivamente por acciones de restauración en casos de bosque invadidos por especies de *Chusquea*.

## REFERENCIAS

- Bahamondez, C., Martin, M., Müller-Using S., Rojas Y. & Vergara, G. (2009).** Case studies on measuring and addressing forest degradation: An operational approach to forest degradation. Forest Resources Assessment FAO. Roma, Italia. Working paper 158, 8 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/21144>
- Bannister, J., Donoso, P. & Mujica, R. (2016).** La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados. *Bosque*, 37(2): 229-235. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000200001>
- Barría, L. (1996).** Comparación de la estructura y crecimiento de una plantación de roble-raulí, con una de roble-raulí-ulmo, en la provincia de Valdivia. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 110 p.
- Brockhaus, M. & Angelsen, A. (2012).** Seeing REDD+ through 4Is: A political economy framework. En: Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W.D. & Verchot, L.V. (Eds). *Analysing REDD+: Challenges and choices*. CIFOR. Bogor, Indonesia. Pp: 15-30.
- CONAF (2016).** Nivel de Referencia de emisiones forestales/Nivel de referencia forestal Subnacional de Chile. 128 p. [https://redd.unfccc.int/files/chile\\_mod\\_sub\\_final\\_01032017\\_spanish.pdf](https://redd.unfccc.int/files/chile_mod_sub_final_01032017_spanish.pdf)
- CONAF (2023).** Nivel de Referencia de Emisiones Forestales/Nivel de Referencia Forestal Nacional de Chile. 128 p. [https://redd.unfccc.int/files/nref\\_nrf\\_nacional.pdf](https://redd.unfccc.int/files/nref_nrf_nacional.pdf)
- Donoso, C. (2006).** Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cuneo ediciones. 678 p.
- Donoso, P.J., Schlegel, B., Salas-Eljatib, C., Donoso, C. (2019)** Development of 26-year-old mixed forests following different regeneration cutting treatments in Andean temperate rainforests of south-central Chile. *Forest Ecology and Management* 432 (2019) 686–693
- Escandón, A., Paula, S., Rojas, R., Corcuera, L. & Coopman, R. (2013)** Sprouting extends the regeneration niche in temperate rain forests: The case of the long-lived tree *Eucryphia cordifolia*. *Forest Ecology and Management*, 310(2013): 321–326. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.046>
- Gingrich, SF. (1967).** Measuring and evaluating stocking and stand density in Upland Hardwood forests in the Central States. *Forest Science*, N° 13. Pp: 38-53.
- González, M.E., Veblen, T.T., Donoso, C., & Valeria, L. (2002).** Tree regeneration responses in a lowland Nothofagus-dominated forest after bamboo dieback in South-Central Chile. *Plant Ecology*, N° 161. Pp: 59-73. <https://doi.org/10.1023/A:1020378822847>
- González, M., Donoso, C. & Fraver, S. (1997).** Respuesta inicial de *Eucryphia cordifolia* Cav., *Laurelia sempervirens* R. et P. Tul. y *Aextoxicon punctatum* R. et P. en plantaciones mixtas en sectores recientemente florecidos con *Chusquea quila* Kunth en el centro-sur de Chile. *Bosque*, 18(1): 53-59. <https://doi.org/10.4206/bosque.1997.v18n1-07>

- Holz, A. & Palma, R.E. (2012).** Floraciones de bambúes en Chile y Argentina: actual floración masiva del colihue, historia natural y riesgos asociados. *Revista Bosque Nativo*, N° 50. Pp: 40-46.
- INFOR (2020).** Informe Final Inventario Forestal Nacional de Bosques nativos y Plantaciones forestales. Diciembre 2020. En: <https://ifn.infor.cl/>
- Ipinza, R. (2021).** Establecimiento de plantaciones nativas de alta biodiversidad. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B., Molina, M. & Barros, S. (Eds). En: Buenas prácticas y consideraciones genéticas para la recuperación de bosques nativos degradados. Instituto Forestal Chile. 338 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31302>
- Jaksic, F. M. & Lima, M. (2003).** Myths and facts on ratadas: bamboo blooms, rainfall peaks and rodent outbreaks in South America. *Austral Ecology*, 28(3): 237-251. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01271.x>
- Martin, M. (2009).** Inventario de los ecosistemas forestales. Manual de operaciones en terreno. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/17358>
- Martinez, C. (2009)** Ertragsregelung in einem Plenterwald aus immergrünen Baumarten des Valdivianischen Regenwaldes im Süden Chiles. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau.
- Müller-Using, B., Tiemann, M., Donoso, P. et al. (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): 67-82. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.527>
- Müller-Using, B. & Ulloa, C. (2008).** Regulación de extracciones por volumen y clases de productos en un bosque heteroetáneo del tipo roble-laurel-lingue en la zona precordillerana de los Andes, provincia de Valdivia. Ejemplo de un aprovechamiento sostenido a nivel de rodal. *EcoNothofagus – Segunda Reunión sobre Nothofagus en la Patagonia*. Pp: 367-368.
- Müller-Using, S., Martin, M., Bahamondez, C. & Uribe, J. (2014).** Proyecto 028/2012 Regeneración natural bajo el concepto de la silvicultura cercana a la naturaleza: Antecedentes técnicos del Tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe. Fondo de Investigación del Bosque Nativo.
- Muñoz, A. & González, M. (2009).** Patrones de regeneración arbórea en claros a una década de la floración y muerte masiva de *Chusquea quila* (Poaceae) en un remanente de bosque antiguo del valle central en el centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, N° 82. Pp: 185-198. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2009000200002>
- Muñoz, F., Hasbún, R., Alarcón, D. & Avilés Narváez, G. (2018).** Criterios técnicos para caracterizar bosques nativos degradados del tipo forestal Siempreverde y guías de restauración usando bosques de referencia INFORME FINAL.PROYECTO CONAF FIBN 009/2016.
- Murray, J.S. & Jones, J.P.G. (2014).** Salvaguardar la biodiversidad en REDD+: Necesario, pero no suficiente si este mecanismo busca desacelerar la pérdida de la biodiversidad global. Center for International Forestry Research (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/cifor/005194>
- Navarro, C., Hauenstein, E., Pinares, J., Esse, C. & Cabello, J. (2014).** Catálogo de estaciones forestales de la Región de La Araucanía. Proyecto INNOVA-CORFO 11BPC-10164(11-13): Implementación de una metodología de tipificación de bosque nativo para la aplicación de la Ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile. 231 p.
- Phelps J., Webb E.L. & Adams, W.M. (2012).** Biodiversity cobenefits of policies to reduce forest-carbon emissions. *Nature Climate Change*, N° 2. Pp: 497–503. <https://doi.org/10.1038/nclimate1462>
- Pilquinao, B., Martin Stuken, M., Müller-Using, S., et al. (2020).** Treinta años de manejo de renovales de roble un análisis de su respuesta en crecimiento y estructura. *Ciencia & Investigación Forestal*, 26(3): 7-32. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.535>
- 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.

**Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949).** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana, IL, EE.UU. 144 p.

**Soto, D.P. & Puettmann, K.J. (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>

**Vásquez-Grandón, A., Donoso, P.J. & Gerding, V. (2018).** Degradación de los bosques: Concepto, proceso y estado -Un ejemplo de aplicación en bosques adultos nativos de Chile. En: Donoso, P., Promis, A. & Soto, D. (Eds). *Silvicultura en bosques nativos. Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el oeste de Estados Unidos*. OSU College of Forestry. Valdivia, Chile. Pp: 175–196.

**Veblen, T.T. (1982).** Growth patterns of *Chusquea* bamboos in the understory of Chilean *Nothofagus* forests and their influences in forest dynamics. *Bulletin of Torrey Botanical Club*, N° 109. Pp: 474–487. <https://doi.org/10.2307/2996488>