

OPINIÓN

**La silvicultura ecológica:
un modelo para plantaciones de especies del género *Nothofagus* en Chile**

Ecological silviculture:
a model for plantations of species of the genus *Nothofagus* in Chile

Pablo J Donoso ^{a*} , **Celso Navarro** ^b , **Angélica Vásquez-Grandón** ^b , **Oscar Larraín** ^c ,
Mauricio González-Chang ^{d,e} , **Mario Romero** ^b , **Paulo Dumont** ^b 

*Autor de correspondencia: ^a Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Instituto de Bosques y Sociedad, Chile, pdonoso@uach.cl

^b Universidad Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Departamento de Ciencias Ambientales, Temuco, Chile.

^c Instituto Forestal, Sede Biobío, San Pedro de La Paz, Concepción, Chile.

^d Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

^e Universidad Austral de Chile, Centro de Investigación en Suelos Volcánicos, Valdivia, Chile.

SUMMARY

Commercial forest plantations grow wood and fiber in an efficient manner. These plantations are generally monospecific, grown in short rotations, and clear cut. In many countries, including Chile, these plantations are established with exotic species. Although these plantations will continue expanding in the world, there are also increasing social and ecological demands to establish, or generate, plantations with greater diversity. Ecological silviculture looks after the development of these types of forests that provide timber and multiple ecosystem services, with an emphasis in developing complex and adaptive ecosystems. This article provides ecological silviculture proposals for plantations with *Nothofagus dombeyi* and *Nothofagus alpina*. We discuss the conventional model of relatively short rotations and alternative models leading to multi-aged forests that will require supplementary plantations with species of the genus *Nothofagus*. This model is not meant to discard the conventional plantations, but rather to be present in landscapes with productive purposes, safeguarding diverse ecosystem services in forests with greater adaptive capacity.

Keywords: irregular shelterwood, selection cuts, *Nothofagus dombeyi*, *Nothofagus alpina*.

RESUMEN

Las plantaciones forestales comerciales permiten generar madera y fibra en forma eficiente. Estas plantaciones son generalmente monoespecíficas, de rotaciones cortas y son cosechadas con talas rasas. En muchos países, incluido Chile, son mayoritariamente de especies exóticas. Si bien estas plantaciones continuarán aumentando en el mundo, también van en aumento las demandas sociales y ecológicas por plantaciones de mayor diversidad. La silvicultura ecológica busca el desarrollo de este tipo de bosques que proveen bienes como madera y múltiples servicios, con un énfasis en ecosistemas complejos y adaptativos. Este artículo provee propuestas de silvicultura ecológica en plantaciones de *Nothofagus dombeyi* y *Nothofagus alpina*. Se discute el modelo convencional de rotaciones relativamente cortas y dos modelos alternativos conducentes a bosques multietáneos en que se necesitará hacer plantaciones suplementarias de especies del género *Nothofagus*. Estos modelos no son excluyentes a los convencionales, sino que deben estar presentes en paisajes con énfasis productivo, pero salvaguardando diversos servicios en bosques con mayor capacidad adaptativa.

Palabras claves: cortas de protección irregular, cortas de selección, *Nothofagus dombeyi*, *Nothofagus alpina*.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales alcanzan cerca de 290 millones de hectáreas en el mundo (FAO 2021), de las cuales 131 millones corresponden a plantaciones monoespecíficas (FAO 2021, Messier *et al.* 2022). Nepal *et al.* (2019) proyectan la superficie de plantaciones mundiales al año 2070 entre 379 y 475 millones de hectáreas. Las plantaciones proveen fundamentalmente madera y fibra (Cubbage *et al.* 2014) y pueden cumplir roles ecológicos importantes, como contribuir a mitigar el cambio climático (Carle *et al.* 2002, Donoso *et al.* 2022), o a restaurar ecosistemas forestales (Carle *et al.* 2002, Paquette y Messier 2010, Locatelli *et al.* 2015, Bannister *et al.* 2016, Messier *et al.* 2022). Sin embargo, un mayor valor ecológico de las plantaciones depende del lugar, tamaño, tipo y espacio de las cortas de cosecha (Keenan y Kimmins 1993, Donoso y Otero 2005, Salas *et al.* 2016, Esse *et al.* 2019) y de los productos finales, ya que la madera aserrada deja capturado el carbono en mayor magnitud y tiempo que la pulpa y el papel. En el escenario de crisis ecológica actual, es urgente buscar alternativas al manejo de plantaciones que permitan la continuidad de su rol de provisión de madera y fibra, pero al mismo tiempo de diversos servicios ecosistémicos a partir de ecosistemas más diversos y complejos.

La diversificación de las plantaciones es una demanda global (Messier *et al.* 2022). Numerosas propuestas de plantaciones mixtas, tanto a nivel global (Bauhus *et al.* 2010, Pretszch *et al.* 2017) como local (Donoso *et al.* 2015a, Donoso y Navarro 2022, Donoso *et al.* 2022), plantean que para maximizar los beneficios en plantaciones inicialmente establecidas con una especie, se deberían promover cambios que aumenten la capacidad de éstas para contribuir a los objetivos climáticos mediante rotaciones extendidas, cortas de cosecha que incluyan la retención de árboles (legados), la inclusión de especies nativas de rápido crecimiento y el establecimiento de plantaciones mixtas. En este contexto, es necesario evaluar la posibilidad de generar sistemas silviculturales para plantaciones que promuevan la diversidad de especies nativas a través de regeneración natural, la diversidad estructural, la productividad ecológica (acumulación de biomasa y carbono) y económica (madera de valor comercial) en bosques manejados. Estos sistemas se pueden desarrollar siguiendo los principios de la silvicultura ecológica (Palik *et al.* 2021) que buscan: a) sostener ecosistemas en vez de un solo bien (por ejemplo, madera) o servicio, b) generar ecosistemas complejos y diversos, y c) generar continuidad en los rodales intervenidos (a través de legados biológicos) y en el paisaje (generando conectividad). Este artículo discute propuestas de sistemas silviculturales ecológicos a partir de plantaciones de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oersted, coihue, y *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oersted, raulí.

POTENCIAL PARA LA SILVICULTURA ECOLÓGICA CON PLANTACIONES DE *NOTHOFAGUS* SPP. EN CHILE

Las plantaciones forestales cuya finalidad es continuar produciendo madera y generando bosques que contribuyan a mitigar los impactos negativos de la crisis ecológica y climática (IPCC 2021) deben funcionar con sistemas silviculturales innovadores que generen bosques diversos, complejos, productivos y resilientes. Estas plantaciones pueden seguir los principios señalados de la silvicultura ecológica, incluyendo raleos que promuevan la diversidad y la regeneración, rotaciones extendidas y uso de métodos silviculturales para plantaciones de cubierta continua, en un modelo de plantaciones mixtas o puras pero conducentes a bosques mixtos.

Nothofagus dombeyi y *N. alpina* son dos especies nativas de Chile y Argentina que pueden ser plantadas a campo abierto, tienen madera de alta calidad y pueden lograr tasas anuales de crecimiento entre 15 y 20 m³ ha⁻¹ en buenos sitios (Cubbage *et al.* 2007, Donoso *et al.* 2015a, Donoso y Navarro 2022). Otras especies, como *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst, roble, también presentan características similares (e.g. Wienstroer *et al.* 2003). En estas plantaciones puras a campo abierto pueden pasar décadas sin la aparición de otras especies forestales en el sotobosque (figura 1). Las plantaciones de *N. dombeyi* y de *N. obliqua* se han establecido dentro de sus distribuciones naturales, pero las de *N. alpina* generalmente en altitudes bajo su distribución natural.

En un esquema convencional de plantaciones puras de *N. alpina* y *N. dombeyi* con manejo de bosques coetáneos en rotaciones relativamente cortas, Donoso *et al.* (2015a) proponen sistemas silviculturales con dos o tres raleos, podas y rotaciones de 35 años con cortas de tala rasa o protección regular (figura 2). Con estos tratamientos se acelera el ingreso de otras especies forestales a partir de la segunda década (figura 3). Este modelo puede ser muy conveniente para muchos propietarios. Sin embargo, los sistemas silviculturales para un modelo de silvicultura ecológica deben trabajar con horizontes de manejo extendidos con sistemas de cubierta forestal permanente que incrementan la biodiversidad y aumentan el carbono secuestrado en la biomasa (Palik *et al.* 2021). Los sistemas silviculturales que permiten esto son los de protección irregular y selección (Nyland 2016, Raymond *et al.* 2009, Donoso y Navarro 2022). Las cortas de protección irregular extienden la corta de los árboles semilleros o simplemente no incluyen corta final. Las cortas de selección son el principal sistema para manejar bosques multietáneos.

En el caso del método de protección irregular, lo que se sugiere es extender la rotación de 35 años y efectuar una corta de protección irregular a los 60 años, edad a la cual habrá árboles de *N. dombeyi* o *N. alpina* de gran tamaño y valor, y un dosel intermedio de otras especies (figura 4). Esta corta puede dejar un 10 - 20 % de cobertura con ár-



Figura 1. Plantaciones puras de *N. alpina* (izquierda) y *N. dombeyi* (derecha) de 12-13 años establecidas en praderas en la precordillera de los Andes en el centro-sur de Chile. No se ve regeneración y la diversidad estructural es pobre.

Pure 12–13-year-old plantations of *N. alpina* (left) and *N. dombeyi* (right) established on pastures in the Andean foothills in south-central Chile. There is no regeneration and structural diversity is poor.

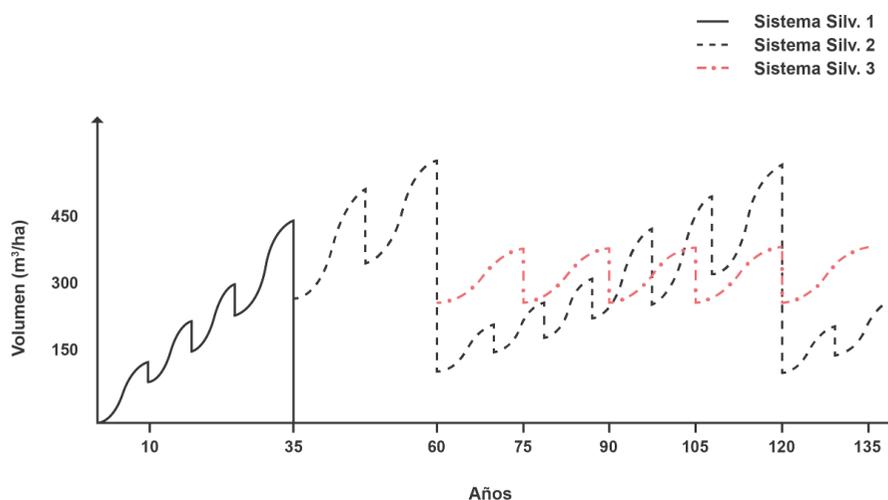


Figura 2. Sistemas silviculturales para plantaciones de *N. dombeyi* o *N. alpina*. El primer escenario corresponde a una rotación de 35 años y una corta a tala rasa o de protección. El segundo escenario es una rotación extendida a 60 años, edad en la que se implementa una corta de protección irregular que genera regeneración natural y se acompaña de una plantación suplementaria de *N. dombeyi* o *N. alpina*. El tercer escenario, que también se inicia a los 60 años, corresponde al inicio de cortas de selección con parches donde se planta *N. dombeyi* o *N. alpina* y se implementan raleos en el rodal. Escenarios de conversión similares a estos se encuentran en Nyland (2003) y Raymond *et al.* (2009).

Silvicultural systems for plantations of *N. dombeyi* or *N. alpina*. The first scenario corresponds to a 35-year rotation and a clear cut or shelterwood cut. The second scenario is an extended rotation to 60 years, age at which an irregular shelterwood is implemented that delivers natural regeneration and is accompanied by a supplementary plantation with *N. dombeyi* or *N. alpina*. The third scenario, which also starts at age 60, corresponds to the onset of a selection cut with patches where *N. dombeyi* or *N. alpina* are planted and thinnings conducted. Similar conversion scenarios are given in Nyland (2003) and Raymond *et al.* (2009).



Figura 3. Plantaciones de *N. alpina* (izquierda) y *N. dombeyi* (derecha) de 25 años con poda y raleos, lo que ha permitido el ingreso de más luz al piso del bosque y la regeneración en el sotobosque.

Twenty five year-old *N. alpina* (left) and *N. dombeyi* (right) plantations with thinning and pruning that have allowed the entrance of light to the forest floor and regeneration that fills the understory.

boles dominantes de *Nothofagus* spp. (que en un futuro podrán ser cosechados) más la de árboles de otras especies en doseles intermedios. La regeneración de *Nothofagus* spp. ha de ser pobre, aunque puede mejorar si hay escarificación del suelo (Soto *et al.* 2019). Será necesaria una plantación suplementaria de 300 - 500 árboles por hectárea para mantener a estas especies en el sistema mixto, densidad similar a la densidad final esperada en plantaciones convencionales con estas especies (Donoso *et al.* 2015a).

En el caso de las cortas de selección en parches, a los 60 años se inicia la transición, que considera sucesivos ciclos de corta que generan nuevas cohortes (figura 2). Ante este escenario, con áreas basales residuales cercanas a 30 m² por hectárea, tal vez regenere *N. alpina*, pero es improbable que regenere *N. dombeyi* (Donoso y Navarro 2022). Se requerirá recurrir a plantaciones en parches o claros, de al menos 700 m² para *N. dombeyi* y de 500 m² para *N. alpina* (Donoso *et al.* 2015b).

Los escenarios señalados pueden acelerarse si desde un principio la plantación se establece como mixta (figura 5), lo cual puede generar mayores ventajas ecológicas y permite mayores crecimientos de especies como *N. alpina* (Donoso *et al.* 2011, Ojeda *et al.* 2018, Riquelme-Buitano

et al. 2023). En consecuencia, los propósitos de la silvicultura ecológica en plantaciones se pueden alcanzar más rápidamente en plantaciones mixtas.

DESAFÍOS Y PROYECCIONES

Las plantaciones forestales, principalmente con *Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus* spp., son la base de la economía forestal formal en Chile (INFOR 2021). Las plantaciones futuras en Chile deberán cumplir roles de producción de madera y fibra (Beltrán 2013, Grosse y Rosselot 2016), pero también aportar importantes servicios ecosistémicos (Prado 2015), para lo cual resulta relevante la diversificación de especies (Bauhus *et al.* 2010). Chile tiene la oportunidad de avanzar en este desafío a partir de plantaciones con especies nativas, como aquellas con *Nothofagus* spp. Para incrementar la superficie con estas plantaciones hay muchos desafíos de gobernanza, pero también es importante comenzar a establecer unidades demostrativas permanentes dentro de la amplia variabilidad socio-ecológica del territorio, con el objetivo de ilustrar, mediante metodologías participativas, las ventajas de estos sistemas en términos productivos y ecológicos (Nicholls y Altieri 2018, González-Chang *et al.* 2021).



Figura 4. Plantación de *N. alpina* de aproximadamente 60 años con árboles de grandes dimensiones y abundante *Persea lingue* (Ruiz et Pav.) Nees en el sotobosque. A esta edad se puede efectuar una corta de protección irregular o bien iniciar la transición hacia un bosque de selección.

Nothofagus alpina plantation near 60 years of age with large trees and abundant *Persea lingue* in the understory. At this age an irregular shelterwood can be conducted or a selection system can be initiated.

Para efectos de abordar los compromisos internacionales de Chile en relación con cambio climático, es necesario un enfoque que persiga objetivos de mitigación y adaptación, incluyendo compromisos en materia de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). Chile se ha comprometido a forestar 200.000 ha al año 2030, con al menos 100.000 ha correspondientes a cubierta forestal permanente, y 70.000 ha con especies nativas. En este escenario las plantaciones con especies nativas bajo modelos de silvicultura ecológica adquieren gran importancia. Este compromiso señala que los proyectos de forestación deben: a) promover la utilización de especies nativas, b) considerar el uso de especies pioneras de gran amplitud ambiental, y c) contribuir a la ordenación y restauración de los paisajes forestales (CONAF 2020). Las plantaciones con *Nothofagus* spp. satisfacen estos requisitos, y a partir de ellas se puede avanzar para generar bosques complejos y adaptativos. Chile debe continuar estableciendo y manejando plantaciones forestales, pero en un contexto de mayor diversificación, aceptación social y



Figura 5. Plantación mixta de 30 años con especies de hoja caduca (*N. obliqua* y *N. alpina*) y perenne (*N. dombeyi*, *Eucryphia cordifolia* Cav., *Laurelia sempervirens* Looser y *Gevuina avellana* Mol.)

Thirty-year-old mixed-species plantation with deciduous (*N. obliqua* and *N. alpina*) and perennial (*N. dombeyi*, *Eucryphia cordifolia* Cav., *Laurelia sempervirens* Looser y *Gevuina avellana* Mol.) species.

valor agregado a los bienes generados. Las oportunidades para avanzar en este desafío están disponibles.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Todos fueron investigadores del proyecto. PJD generó el concepto, redactó el primer borrador y editó el artículo; CN generó el concepto y contribuyó a mejorar la edición del documento final; AVG coordinó el trabajo entre autores; OL, MR y PD revisaron y comentaron el borrador; MGC revisó y comentó el borrador en aspectos sociales.

FINANCIAMIENTO

Los autores agradecemos el financiamiento del Proyecto FONDEF IT21H0028.

REFERENCIAS

- Bannister JR, PJ Donoso, R Mujica. 2016. La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados. *Bosque* 37(2): 229–235. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200001>
- Bauhus J, P Van Der Meer, M Kanninen. 2010. Ecosystem goods and services from plantations. London, UK. Earthscan. 253 p.
- Beltrán K. 2013. Superficie potencial forestable de las regiones de O'Higgins a Aysén. Santiago, Chile. Corporación Nacional Forestal (CONAF). 276 p.
- Carle J, P Vuorinen, A Dellungo. 2002. Status and trends in global plantation development. *Forest Products Journal* 52(7/8):12–23. Consultado el 8 mar. 2024. Disponible en: <https://www.fao.org/forestry-fao/25856-0c773a78823b8b-936c7f6c323919bd706.pdf>
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2020. Actualización contribución determinada a nivel nacional (NDC). Estrategia nacional de cambio climático de los recursos vegetacionales (ENCCRV). Santiago, Chile. CONAF. 97 p.
- Cubbage F, P MacDonagh, J Sawinski Júnior, R Rubilar, PJ Donoso, A Ferreira, V Hoeflich, V Morales, G Ferreira, G Balmelli, J Siry, MN Báez, J Alvarez. 2007. Timber investment returns for selected plantations and native forests in South America and the Southern United States. *New Forests* 33(3): 237–255. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-006-9025-4>
- Cubbage F, P Mac Donagh, G Balmelli, V Morales, A Bussoni, R Rubilar, R De La Torre, R Lord, J Huang, V Afonso, M Murara, B Kanieski, P Hall, R Yao, PAdams, H Kotze, E Monges, C Hernández, J Wikle, R Abt, R Gonzalez, O Carrero. 2014. Global timber investments and trends, 2005–2011. *New Zealand Journal of Forestry Science* 44:S7. DOI: <https://doi.org/10.1186/1179-5395-44-S1-S7>
- Donoso PJ, C Navarro. 2022. Silvicultura y Manejo de Bosques nativos. Ecología aplicada para la conservación de ecosistemas forestales. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 509 p.
- Donoso PJ, L Otero. 2005. Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile? *Bosque* 26(3): 5–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002005000300002>
- Donoso PJ, AA Muñoz, O Thiers, D Soto, C Donoso. 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. DOI: <https://doi.org/10.1139/x11-019>
- Donoso PJ, C Navarro C, D Soto, V Gerding, O Thiers, J Pinares, B Escobar, MJ Sanhueza. 2015a. Manual de plantaciones de raulí (*Nothofagus alpina*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*) en Chile. Temuco, Chile. FONDEF, UACH, UCT. 204 p.
- Donoso PJ, DP Soto, C Fuentes. 2015b. Differential growth rates through the seedling and sapling stages of two *Nothofagus* species underplanted at low-light environments in an Andean high-graded forest. *New Forests* 46: 885–895. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9480-x>
- Donoso PJ, D Soto, C Navarro, Y Rojas. 2022. Chile's monoculture plantations must adapt (Letter). *Science* 378(6616):147–148. DOI: <http://doi.org/10.1126/science.ade7898>
- Esse C, R Santander-Massa, F Encina-Montoya, P De los Ríos, D Fonseca, P Saavedra. 2019. Multicriteria spatial analysis applied to identifying ecosystem services in mixed-use river catchment areas in south central Chile. *Forest Ecosystems* 6:25. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0183-1>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2021. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal. Roma, Italia. FAO. 70 p.
- González-Chang M, J Faulkner, M Shields, B Lavandero. 2021. Enhancing biodiversity in Chilean farms requires locally-adapted agroecological protocols. *Agro Sur* 49(3):45–50. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2021.v49n3-05>
- Grosse H, F Rosselot. 2016. La potencialidad de nuevas plantaciones forestales en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal* 22(1): 77–90. DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2016.452>
- INFOR (Instituto Forestal, CL). 2021. Estadísticas forestales. Consultado 8 mar. 2024. Disponible en <https://web.infor.cl>
- IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2021. AR6 climate change 2021: The physical science basis. Consultado 8 mar. 2024. Disponible en <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Keenan RJ, H Kimmins. 1993. The ecological effects of clear-cutting. *Environmental Reviews* 1(2):121–144. DOI: <https://doi.org/10.1139/a93-010>
- Locatelli B, CP Catterall, P Imbach, C Kumar, R Lasco, E Marín-Spiotta, B Mercer, JS Powers, N Schwartz, M Uriarte. 2015. Tropical reforestation and climate change: Beyond carbon. *Restoration Ecology* 23(4):337–343. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.12209>
- Messier C, J Bauhus, R Sousa-Silva, H Auge, L Baeten, N Barsoum, H Bruelheide, B Caldwell, J Cavender-Bares, E Dhiedt, N Eisenhauer, G Ganade, D Gravel, J Guillemot, JS Hall, A Hector, B Hérault, H Jactel, J. Koricheva, H Kreft, S Mereu, B Muys, CA Nock, A Paquette, JD Parker, MP Perring, Q Ponette, C Potvin, PB Reich, M Scherer-Lorenzen, F Schnabel, K Verheyen, M Weih, M Wollni, DC Zemp. 2022. For the sake of resilience and multifunctionality, let's diversify planted forests! *Conservation Letters* 15:e12829. DOI: <https://doi.org/10.1111/conl.12829>
- Nepal P, J Korhonen, JP Prestemon, FW Cubbage. 2019. Projecting global planted forest area developments and the associated impacts on global forest product markets. *Journal of Environmental Management* 240:421–430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.126>
- Nyland RD. 2003. Even- to uneven-aged: the challenges of conversion. *Forest Ecology and Management* 172: 291–300.
- Nyland RD. 2016. Silviculture. Concepts and Applications. Long Grove, Illinois, USA. Waveland Press Inc. 680 p.
- Nicholls CI, MA Altieri. 2018. Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 42(10): 1170–1193. DOI: <https://doi.org/10.1080/2168356.5.2018.1499578>
- Ojeda P, PJ Donoso, C Salas-Eljatib. 2018. Volume growth of secondary forests managed to promote old-growth attributes in Valdivian temperate rainforests in Chile. Poster, Book of Abstracts, 11th IUFRO Uneven-aged Silviculture Workshop: Challenges for Increasing Adaptability. Valdivia, Chile. November 12–18.
- Palik BJ, AW D'Amato, JF Franklin, KN Johnson. 2021. Ecological Silviculture. Foundations and Applications. Illinois, USA. Waveland Press Inc. 343 p.
- Paquette A, C Messier. 2010. The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. *Frontiers in Ecology and Environment* 8(1):27–34. DOI: <https://doi.org/10.1890/080116>

- Prado J. 2015. Plantaciones forestales. Más allá de los árboles. Santiago, Chile. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G. 168 p.
- Pretzsch H, D Forrester, J Bauhus (Eds.). 2017. Mixed-species Forests. Berlin, Germany. Springer. 653 p.
- Raymond P, S Bédard, V Roy, C Larouche, S Tremblay. 2009. The irregular shelterwood system: review, classification, and potential application to forests affected by partial disturbances. *Journal of Forestry* 107(8): 405-413. DOI: <https://doi.org/10.1093/jof/107.8.405>
- Riquelme-Buitano T, PF Ojeda González, PJ Donoso. 2023. Comparing growth of *Nothofagus alpina* and *Nothofagus obliqua* in pure and mixed plantations in the intermediate depression of the Los Ríos Region, Chile. *Bosque* 44(1):263–272. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000100263>
- Salas C, PJ Donoso, R Vargas, CA Arriagada, R Pedraza, DP Soto. 2016. The forest sector in Chile: an overview and current challenges. *Journal of Forestry* 114(5):562–571. DOI: <https://doi.org/10.5849/jof.14-062>
- Soto DP, KJ Puettmann, C Fuentes, DF Jacobs. 2019. Regeneration niches in *Nothofagus*-dominated old-growth forests after partial disturbance: Insights to overcome arrested succession. *Forest Ecology and Management* 445: 26-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.004>
- Wienstroer M, H Siebert, B Müller-Using. 2003. Competencia entre tres especies de *Nothofagus* y *Pseudotsuga menziesii* en plantaciones mixtas jóvenes, establecidas en la precordillera andina de Valdivia. *Bosque* 24(3):17–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000300002>

Recibido: 15.06.24

Aceptado: 23.11.24

