

Recuperación de bosques con *Nothofagus spp.*, en Los Andes del sur de Chile: uso de la escarificación del suelo como técnica facilitadora para la regeneración

Javier Reyes M.^{a*}, Oscar Thiers^a, Víctor Gerding^a, Daniel P. Soto^b

^a Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Instituto de Silvicultura.

E-mail: jareyes05@gmail.com

^b Oregon State University, Department Forest Ecosystem and Society, Corvallis OR 97331 USA

Resumen

La escarificación del suelo es una técnica silvicultural que facilita la regeneración de especies intolerantes y pioneras, pero puede afectar a las propiedades del suelo. En el presente trabajo se realiza una revisión sobre las características de esta práctica y de sus antecedentes a nivel global y en Chile. La escarificación se realiza en lugares donde las semillas no tienen acceso al suelo mineral, debido a que está cubierto por mantillo de gran espesor, o en sitios donde tienen competencia con otras especies en el sotobosque. Al realizar la escarificación se generan condiciones similares a un disturbio natural (remoción y exposición del suelo mineral superficial de un sitio), lo que favorece el establecimiento de especies pioneras. En Chile, la escarificación se podría utilizar para favorecer el establecimiento de especies del género *Nothofagus* en zonas que han sido invadidas por *Chusquea spp.*, luego de una cosecha forestal parcial de mediana a baja intensidad. El suelo, generalmente, sufre una disminución de su fertilidad (aspecto nutritivo y propiedades físicas). En el ejemplo presentado para un bosque adulto en el sur de Chile, preliminarmente, dichos cambios no serían limitantes para el establecimiento del género *Nothofagus*, debido a su carácter de especies pioneras adaptadas a régimen de disturbios de mediana a gran escala a nivel de paisaje. Los cambios producidos por la escarificación dependen de las condiciones de cada sitio, especialmente en lo referido al origen y edad del suelo, por lo que dichas características deben ser considerados al momento de la planificación y ejecución de una intervención de esta magnitud.

1. Introducción

Los bosques de *Nothofagus spp.* de Los Andes del sur de Chile presentan alto potencial productivo, sin embargo, han sido explotados históricamente de manera indiscriminada sin considerar el efecto a largo plazo, lo que ha derivado en que la mayoría de estos bosques se encuentren degradados (Donoso y Lara 1996). El manejo silvicultural de dichos bosques, requiere en primera instancia recuperar estas áreas degradadas, por lo que se debe aplicar un sistema silvicultural adecuado para facilitar el establecimiento de especies arbóreas originales y con ello crear nuevos y productivos bosques. Sin embargo, las prácticas silviculturales pueden tener un efecto en el suelo, aunque éste no ha sido considerado en el manejo de bosques nativos en Chile.

Una de las prácticas que puede ser utilizada para facilitar la regeneración en los bosques de *Nothofagus spp.* (en general especies pioneras y demandantes de luz) es la escarificación del suelo. Mediante esta técnica se interviene el suelo superficial, dejándolo expuesto y también se elimina la competencia a nivel de sotobosque (Resco de Dios *et al.* 2005). Al realizar cortas de protección en bosques ubicados en la Cordillera de Los Andes, generalmente se produce una invasión de *Chus-*

quea spp. que dificulta el establecimiento de la regeneración arbórea (Donoso *et al.* 2013). Al realizar una escarificación se puede eliminar esta competencia por luz y recursos edáficos (agua y nutrientes). No obstante, dicha intervención generalmente disminuye la fertilidad en el suelo (Hope 2007), por lo que también es necesario evaluar la condición del suelo previo y posterior a la intervención.

En el presente trabajo se hace una revisión de antecedentes relacionados con la escarificación del suelo, describiendo la técnica y presentando antecedentes a nivel global y presentando un ejemplo de su aplicación en bosques ubicados en Los Andes del sur de Chile.

2. Escarificación del suelo

La escarificación del suelo está considerada como una técnica silvicultural de preparación del suelo (Nyland 2002). Ésta se realiza previa al establecimiento de nueva regeneración, ya sea de origen natural o artificial, y consiste en arar el suelo en horizontes superficiales o bien remover un estrato superficial de suelo y el mantillo (materia orgánica que se acumula sobre el suelo, figura 1), con el fin de mitigar o eliminar competencia por luz, agua y nutrientes, y mejorar las condiciones ambien-



Figura 1. Escarificación mecanizada del suelo (fuente: <http://forest.fsc.hokudai.ac.jp>).

tales para favorecer el establecimiento de especies forestales de interés (Örlander *et al.* 1996, Wurtz y Zasada 2001).

La escarificación se ha utilizado comúnmente en bosques boreales o de bajas temperaturas. En estos bosques existe baja actividad biológica en el suelo (poca descomposición), lo que lleva a tener una mayor acumulación de mantillo (humus bruto), en el cual existe una alta probabilidad de que las semillas sufran desecación (Hille y den Ouden 2004). Al realizar la escarificación, el mantillo es desplazado o mezclado con el suelo mineral facilitando el acceso de semillas al suelo en un mejor ambiente (Zackek 2002). En Chile, cuando existe una abertura de dosel y liberación de recursos, algunas especies como las bambúceas, del género *Chusquea*, invaden estos lugares (Donoso *et al.* 2013). Por ejemplo, *Chusquea culeou* E. Desv es la especie que predomina en zonas andinas (Veblen *et al.* 1996), acumulando una gran cantidad de biomasa en el suelo superficial y dificultan el establecimiento de especies arbóreas deseadas, por lo que se necesita realizar intervenciones silviculturales intensas, como la escarificación del suelo, si el objetivo de manejo forestal es favorecer el establecimiento de regeneración de las especies arbóreas originales.

Al realizar este tipo de manejo existen ciertas ventajas y desventajas (cuadro 1). En el caso de los bosques andinos del

sur de Chile, la escarificación favorecería el establecimiento de especies del género *Nothofagus*. Estas especies se han establecido a lo largo del tiempo posterior a disturbios importantes tales como erupciones volcánicas y deslizamientos de terrenos en la Cordillera de Los Andes (Veblen *et al.* 1996), lo que se conoce como una dinámica regenerativa del tipo catastrófico. La escarificación del suelo emula, en parte, un disturbio similar a uno de origen natural, al quedar un suelo mineral temporalmente expuesto y sin competencia por los recursos con otras especies.

3. Aplicación del método: ejemplos a nivel global y en Chile

Antecedentes a nivel global. La mayor parte de las investigaciones se han concentrado en observar el comportamiento de la regeneración natural posterior a estas intervenciones. Zackek (2002) observó un aumento en más de diez veces de la supervivencia y la densidad en áreas escarificadas respecto a áreas no intervenidas en bosques de *Quercus spp.*; Mattson *et al.* (2007) encontraron un aumento significativo en el volumen (biomasa y fuste) de *Pinus contorta*; y Karlsson y Nilsson (2005) también mencionan un aumento significativo en la densidad de *Pinus sylvestris*. Prevóst *et al.* (2010) sugieren que en casos de no tener una densidad de regeneración esperada se puede acompañar de plantaciones con especies deseadas.

La mayor parte de las especies que se establecen después de la escarificación son intolerantes a la sombra, por lo que el grado de abertura de dosel juega un rol importante en el (Yoshida *et al.* 2005). En algunos bosques de Japón la escarificación se utiliza para eliminar la bambúcea *Sasa kurilensis*, la que coloniza áreas donde se forman aberturas (comparable a lo que sucede en Chile con *Chusquea spp.*), e impide casi en su totalidad el establecimiento y desarrollo de otras especies (Resco de Dios *et al.* 2005, Yoshida *et al.* 2005, Aoyama *et al.* 2011).

Respecto del suelo, uno de los cambios más significativos es la disminución de la materia orgánica y, consecuentemente, del nitrógeno, lo que puede mantenerse por más de 25 años (Jiménez *et al.* 2008). Sin embargo, una disminución del contenido de materia orgánica en un suelo arenoso mostró

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de realizar una escarificación del suelo.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Elimina la competencia con otras especies • Expone el suelo mineral, lo que permite el acceso de las semillas a éste • En el caso de no semillación, genera áreas abiertas y libres de competencia para el establecimiento de plantaciones • Modifica condiciones microambientales, pueden mejorar la temperatura y humedad del suelo • Aumenta la biodiversidad y riqueza de especies vegetales a nivel del suelo (complejidad y heterogeneidad) cuando ocurre el reemplazamiento • El establecimiento de un nuevo bosque permite la acumulación de carbono en la biomasa • Emula un evento catastrófico que favorece el establecimiento de especies pioneras 	<ul style="list-style-type: none"> • Remoción de la parte superficial del suelo, que normalmente posee mejores características químico nutritivas (más fértil) • La exposición del suelo mineral puede aumentar la erosión • Se interviene (por arado o desplazamiento) la parte con mayor acumulación de materia orgánica en el suelo • Se recomienda aplicar en suelos profundos con pendientes < 30 % • El uso de maquinarias puede causar compactación en el suelo

un aumento 10 años después de la intervención (Hope 2007). Otros cambios observados son, por una parte, la disminución de la oferta nutritiva y el aumento de la densidad aparente (Gastaldello *et al.* 2007, Hope 2007) y, por otra, el aumento del contenido volumétrico de agua (Gastaldello *et al.* 2007). Pero, dicha variación tiene también relación con la abertura del dosel y, en zonas de abundante precipitación, puede provocar la pérdida de elementos nutritivos a través de la lixiviación (Palvaen *et al.* 2005, Piirainen *et al.* 2007). Los cambios que se originan en el suelo dependen de más del tipo de escarificación que de la intensidad del método de corta utilizado (Hille y Ouden 2004).

Por otro lado, la escarificación por medio de maquinaria pesada podría producir compactación del suelo. En general, los efectos de la compactación del suelo son variados y dependen del tipo de suelo, y la magnitud de su efecto dependerá de las características autoecológicas de las especies y del del ecosistema (Kozłowski 1999). Algunos efectos imprecisos y poco marcados sobre el crecimiento de plantas han producido confusión acerca del efecto de la compactación del suelo. En algunos casos, altos valores de compactación (generalmente > 2 MPa), registrados por medio de resistencia a la penetración, producirían una merma en el crecimiento de las plantas (Cheatle 1991, Gebauer y Martinková 2005, Basset *et al.* 2005, Bulmer y Simpson 2005). Pero, por otro lado, también se ha observado un buen crecimiento de las plantas en suelos compactados (Miller *et al.* 1996, Ares *et al.* 2005, Fleming *et al.* 2006, Nabe-Nielsen *et al.* 2007, Alameda y Villar 2009). Dada esta incertidumbre acerca de los efectos de la compactación del suelo sobre el crecimiento de plantas, Ampoorter *et al.* (2010) estudiaron los efectos globales a través de un meta-análisis y para ello, utilizaron una técnica estadística que permite recalculer resultados de varios artículos científicos con los similares objetivos e hipótesis. Los resultados mostraron que los efectos de compactación son predominantemente insignificantes y varían fuertemente entre tipos de suelos y especies. Es decir, las técnicas comunes de

escarificado no ocasionarían, por si solas, dificultades en el desarrollo de las plantas debido a cambios estructurales en el suelo.

Ejemplos en Chile. Existe poca información sobre ensayos de escarificación realizados en el país. En la Cordillera de Los Andes de Valdivia un escarificado realizado después de una corta de protección, mejoró la sobrevivencia de *Nothofagus alpina* (más del doble respecto del área no intervenida) y, la regeneración incrementó su altura respecto a otros tratamientos (Schmidt *et al.* 1991). También en dicha zona, Reyes (2012) evaluó la variación en las propiedades de un suelo de origen volcánico en un bosque no intervenido y en uno sometido a escarificación mecanizada, usando un Bulldozer (D4-Komatsu) con el fin de eliminar la competencia de *Chusquea* sp. La escarificación del suelo se realizó posterior a una corta de protección, en sectores de distintos tamaños y se removió entre 20 y 40 cm de suelo (éste fue desplazado y dejado en la periferia de los sectores escarificados). El suelo superficial en el sector intervenido posee características distintas al que estaba originalmente antes de la escarificación, a grandes rasgos, se trata de un suelo con un material más grueso (figura 2A) y con menor porosidad (figura 2B). La densidad aparente y la resistencia a la penetración en los primeros 10 cm del suelo (figura 3) en el área escarificada son mayores que en el bosque (área no intervenida y utilizada como testigo), aunque son similares entre sectores escarificados, independiente de sus tamaños. Valores muy elevados en la densidad aparente podrían indicar problemas de compactación. Lo mismo sucede con la resistencia a la penetración, aunque en ambas variables los valores no llegan a niveles que se puedan considerar críticos para el establecimiento de la regeneración (Gregorich y Carter 1997, Kozłowski 1999, Ares *et al.* 2005).

Las propiedades químico-nutritivas del suelo en los primeros 40 cm del suelo, en el estudio de Reyes (2012), mostraron niveles de contenidos nutritivos menores en el sector escarificado respecto del bosque no intervenido, sobre todo

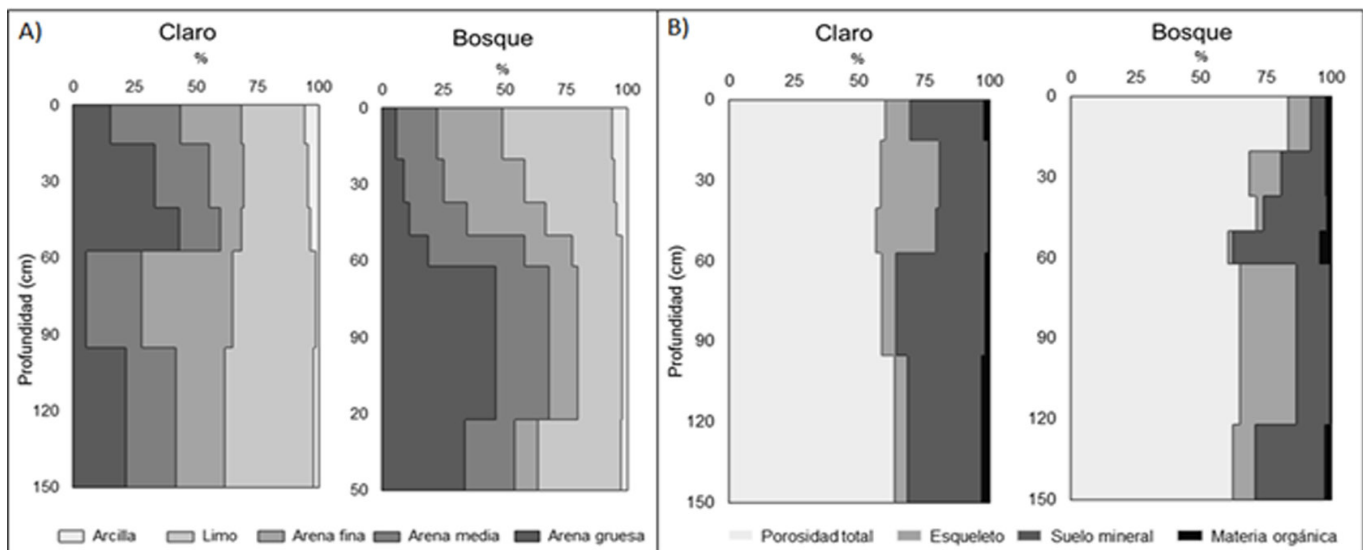


Figura 2. A) perfil de granulometría y B) perfil volumétrico del suelo en el claro escarificado (750 m²) y el bosque no intervenido de *Nothofagus* spp. (adaptado de Reyes 2012).

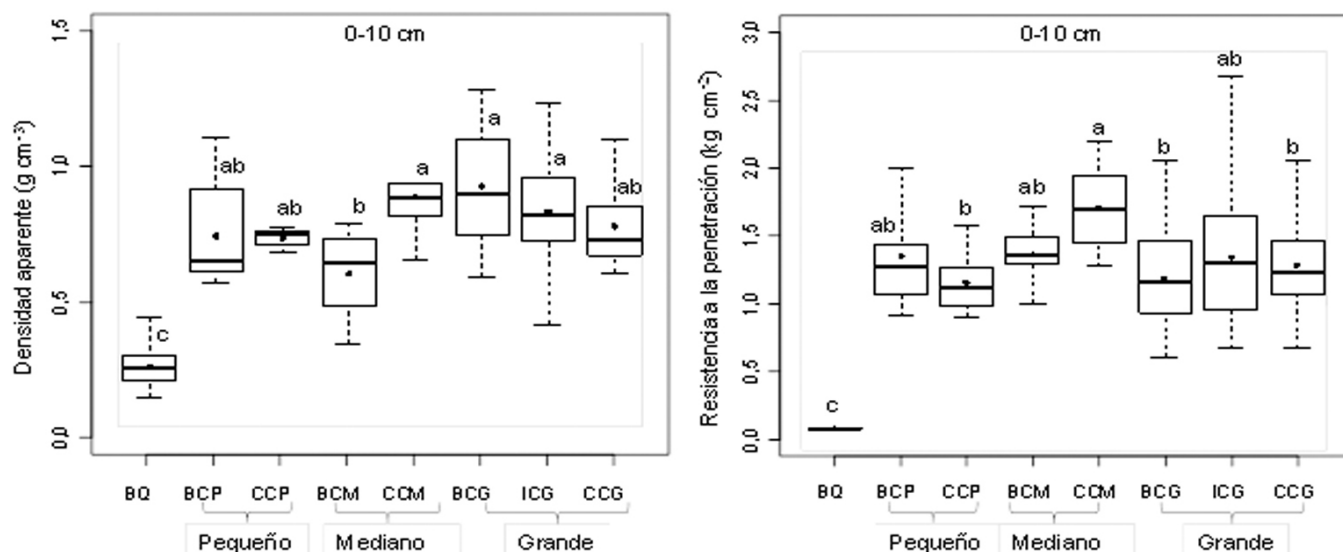


Figura 3. Densidad aparente del y resistencia a la penetración en los primeros 10 cm del suelo, de acuerdo a su ubicación en los claros escarificados: pequeños (150-300 m²) medianos (300-600 m²) y grandes (600-1.000 m²) y en el bosque no intervenido de *Nothofagus spp.* BQ: bosque; BCP: borde claro pequeño; CCP: borde claro pequeño; BCM: borde claro mediano; CCM: centro claro mediano; BCG: borde claro grande; ICG: intermedio claro grande; CCG: centro claro grande. Los puntos negros indican la media aritmética.

considerando los primeros 20 cm de profundidad (cuadro 2). Sin embargo, el cambio no es tan abrupto al llevar estos valores a cantidades por superficie (cuadro 3). Existe una disminución en la cantidad de bases (calcio, potasio y magnesio) pero los niveles de nitrógeno total y fósforo disponible son similares. Esto se debe a que, si bien en el sector escarificado hay menor concentración de elementos nutritivos, hay una mayor masa de suelo que en el bosque no intervenido (recordando que este último tiene un mayor espacio ocupado por aire). Por otra parte, se debe resaltar que el bosque no intervenido tiene más materia orgánica, lo que es favorable en otros aspectos (estabilidad del suelo, actividad biológica y reserva de nutrientes), y que la saturación de aluminio en

el sector escarificado es elevada (valores mayores a 10%), lo que puede dificultar el desarrollo radical de algunas plantas. Sin embargo, las especies del género *Nothofagus* estarían adaptadas a estas condiciones edáficas y serían capaces de tolerar una alta saturación de aluminio y establecerse en áreas de baja disponibilidad de elementos nutritivos, por lo que no tendrían inconvenientes para desarrollarse en este tipo de suelos. Se debe considerar, además, que el suelo superficial no fue extraído del lugar sino que fue desplazado a unos pocos metros, por lo que las plantas que se establezcan en los sectores escarificados tendrán acceso a los nutrientes disponibles en el largo plazo, dependiendo del tamaño del área y la cercanía de las plantas a este suelo.

Cuadro 2. Concentración de elementos nutritivos en los primeros 40 cm de suelo para en el bosque no intervenido de *Nothofagus spp.* y en el claro escarificado (750 m²) (adaptado de Reyes 2012).

Horizonte (profundidad)	Materia orgánica (%)	C total		N total	P Olsen	K	Ca	Mg	Al e.	Suma de bases	Sat. de Al
		g kg ⁻¹									
Bosque											
A (0-20 cm)	26,9	155	2,4	7,5	185	2.445	176	378		14,4	2
AC (20-37 cm)	4,8	28	0,8	2,0	310	194	26	928		2,1	19
Claro											
2C (0-15 cm)	6,7	38	1,4	6,9	22	222	22	942		1,4	23
3C (15-40 cm)	0,9	5	0,3	1,6	9	28	8	174		0,3	35

Cuadro 3. Cantidad de elementos nutritivos del suelo en el bosque no intervenido de *Nothofagus spp.* y en el claro escarificado (750 m²) para los primeros 40 cm de profundidad (adaptado de Reyes 2012).

Horizonte	Peso seco del estrato* kg ha ⁻¹	C total	N total	P Olsen	K	Ca	Mg
Bosque							
A (0-20 cm)	343.006	5.305	82	0,26	6,3	84	6,0
AC (20-37 cm)	867.413	2.439	66	0,17	26,9	17	2,2
Total	1.210.420	7.744	149	0,4	33,2	101	8,2
Claro (800 m²)							
2C (0-15 cm)	1.213.990	4.649	171	0,84	2,7	27	2,7
3C (15-40 cm)	1.275.446	670	41	0,20	1,2	4	1,0
Total	2.489.436	5.319	213	1,05	3,9	31	3,6

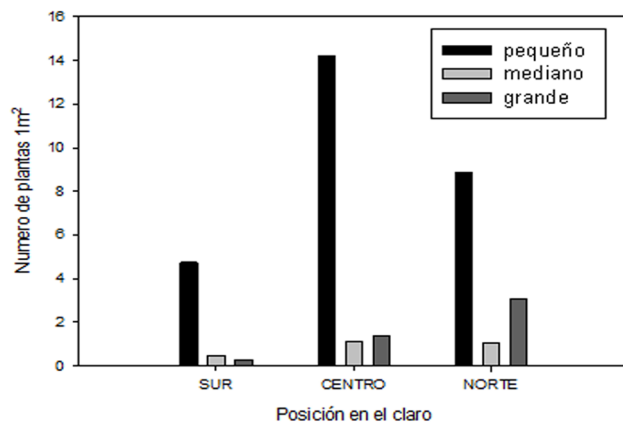


Figura. 4. Regeneración natural después de un año de escarificado. Los claros fueron separados en abertura de dosel en: pequeños <20%; medianos, cercano a 40%; y grandes > 60% de abertura de dosel (adaptado de FONDEF D07I1034).

fertilidad, como un trumao, el efecto de remover el suelo superficial no produce un impacto tan grande en comparación con otros suelos, como un rojo arcilloso que presenta mayor dependencia de la oferta nutritiva en la parte superficial, o uno metamórfico delgado o moderadamente profundo y con presencia de esqueleto (Schlatter *et al.* 2003).

La escarificación no es recomendable en terrenos de pendientes pronunciadas (> 30%) y con presencia de alta a muy alta pluviometría (>3.000 mm) debido al riesgo de erosión. La mitigación de la merma nutrientes disponibles se puede lograr con fertilización, pero su efecto tiene un carácter temporal y localizado; también se podría reponer o redistribuir el suelo desplazado después de haber eliminado la competencia (Aoyama *et al.* 2009). Se debe considerar que los procesos de formación del suelo son lentos, por lo que los cambios producidos no se restituirán en corto plazo. Mediante un uso adecuado, la escarificación del suelo puede ayudar a mejorar el repoblamiento de bosques con *Nothofagus spp* y apoyar el éxito de las faenas silviculturales destinadas a recuperar bosques degradados.

4. Conclusiones

La escarificación ha demostrado ser una práctica que permite mejorar la regeneración. Al realizar tal intervención se generan condiciones similares a un disturbio de origen natural, donde regeneran especies pioneras, como los *Nothofagus spp* en Chile. El suelo, generalmente, sufre una disminución de su fertilidad al realizar esta práctica, por lo que solo pueden establecerse especies adaptadas a tales condiciones y debe elegirse un suelo que tolere una merma de su fertilidad. En Chile se deben realizar estudios que respalden la aplicación de escarificación, debido a que sus efectos varían según el sitio, tanto por la factibilidad de regeneración de la especie objetivo como por la presencia de especies herbáceas o arbustivas no deseadas (*Chusquea spp.*).

Agradecimientos

Los autores agradecen los proyectos Bosque Nativo CONAF

042/2010 y FONDEF D07I1034, a la empresa Forestal Neltume Carranco S.A., y la Escuela de Graduados de la Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales de la Universidad Austral de Chile.

Referencias

Ampoorter E, De Frenne P, Hermy M, Verheyen K. 2010. Effects of soil compaction on growth and survival of tree saplings: a meta-analysis. *Basic and Applied Ecology* 12:394-402.

Alameda D, Villar R. 2009. Moderate soil compaction: implications on growth and architecture of 17 woody plant seedlings. *Soil and Tillage Research* 103:325-331.

Aoyama K, Yoshida T, Kamitani T. 2009. An alternative of soil scarification treatment for forest restoration: effects of soil replacement. *Journal of Forest Research* 14: 58-62.

Aoyama K, Yoshida T, Harada A, Noguchi M, Miya H, Shibata H. 2011. Changes in carbon stock following soil scarification of non-wooded stands in Hokkaido, northern Japan. *Journal of Forest Research* 16: 35-45.

Ares A, Terry TA, Miller RE, Anderson HW, Flaming BL. 2005. Forest harvest effects on soil physical properties and Douglas-fir growth. *Soil Science Society of America Journal* 69:1822-1832.

Bassett IE, Simcock RC, Mitchell ND. 2005. Consequences of soil compaction for seedling establishment: Implications for natural regeneration and restoration. *Austral Ecology* 30: 827-833.

Bulmer CE, Simpson DG. 2005. Soil compaction and water content as factors affecting the growth of lodgepole pine seedlings on sandy clay loam soil. *Canadian Journal of Soil Science* 85 667-679.

Cheatle RJ. 1991. Tree growth on a compacted oxisol. *Soil and Tillage Research* 19: 331-344.

Coates KD, Burton PJ. 1997. A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *Forest Ecology and Management* 99: 337-354.

Donoso C, Lara A. 1996. Utilización de los Bosques Nativos en Chile: Pasado, Presente y Futuro. En: Armesto J, Villagrán C, Arroyo M (Eds). *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 363-404 p.

Donoso P, Donoso C, Marchelli P, Gallo L, Escobar B. 2006. *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. et Mil. Otros nombres científicos usados: *Nothofagus alpina*, *Nothofagus procera*. Raulí. En: C. Donoso (Ed). *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina, autoecología*. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile, 448-461 p.

- Donoso PJ, Soto DP, Coopman RE, 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* 33(1): 23-32.
- Fleming RL, Powers RF, Foster N, Kranabetter JM, Scott DA, Ponder FJr., Berch S, Chapman WK, Kabzems RD, Ludovici KH, Morris DM, Page-Dumroese DS, Sanborn PT, Sanchez FG, Stone DM, Tiarks AE. 2006. Effects of organic matter removal, soil compaction, and vegetation control on 5-year seedling performance: a regional comparison of Long-Term Soil Productivity sites. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 529-550.
- Gebauer R, Martinková M. 2005. Effects of pressure on the root systems of Norway spruce plants (*Picea abies* [L.] Karst.). *Journal of Forestry Science* 51: 268-275.
- Gregorich E, Carter M. 1997. Soil quality for crop production and ecosystem health. Elsevier, Amsterdam.
- Hille M, den Ouden J. 2004. Improved recruitment and early growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings after fire and soil scarification. *European Journal of Forest Research* 123: 213-218.
- Jiménez A, Stromberger M, Shepperd W. 2008. Soil scarification and wildfire interactions and effects on microbial communities and carbon. *Soil Science Society of America Journal* 72: 111-118.
- Karlsson M, Nilsson U. 2005. The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 205: 183-197.
- Kozłowski TT. 1999. Soil compaction and growth of woody plants. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14 596-619.
- Hope G. 2007. Changes in soil properties, tree growth, and nutrition over a period of 10 years after stump removal and scarification on moderately coarse soils in interior British Columbia, *Forest Ecology and Management* 242: 625-635.
- Mattson S, Bergsten U, Mörling T. 2007. *Pinus contorta* growth in boreal Sweden as affected by combined lupin treatment and soil scarification. *Silva Fennica* 41(4): 649-659.
- Miller RE, Scott W, Hazard JW. 1996. Soil compaction and conifer growth after tractor yarding at three coastal Washington locations. *Canadian Journal of Forest Research* 26:225-236.
- Nyland R. 2002. *Silviculture concepts and applications*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Nabe Nielsen J, Severiche W, Fredericksen T, Nabe-Nielsen LI. 2007. Timber tree regeneration along abandoned logging roads in a tropical Bolivian forest. *New Forests* 34: 31-40.
- Örlander G, Egnell E, Albrektson A. 1996. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. *Forest Ecology and Management* 86: 27-37.
- Palviainen M, Finér L, Mannerkoski H, Piirainen S, Starr M. 2005. Changes in the above-and below-ground biomass and nutrient pools of ground vegetation after clear-cutting of a mixed boreal forest. *Plant and Soil* 275:157-167.
- Piirainen S, Finer L, Mannerkoski H, Starr, M. 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus leaching after site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Forest Ecology and Management* 243: 10-18.
- Prevóst M, Raymond P, Lussier J. 2010. Regeneration dynamics after patch cutting and scarification in yellow birch conifer stands *Canadian Journal of Forest Research* 40: 357-369.
- Resco de Dios V, Yoshida T, Iga Y. 2005. Effects of topsoil removal by soil-scarification on regeneration dynamics of mixed forests in Hokkaido, Northern Japan. *Forest Ecology and Management* 215:138-148.
- Reyes J. 2012. Escarificación del suelo en un bosque de *Nothofagus* spp. en Los Andes del sur de Chile. Tesis de Magíster en Ciencias mención Recursos Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Schmidt H, Ruston A, Donoso S. 1991. Regeneración natural y artificial en el bosque de Coigüe - Raulí - Mañío. Universidad de Chile- Corporación Nacional Forestal.
- Schlatter J, R Grez, V Gerding. 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile
- Yoshida T, Iga Y, Ozawa M, Noguchi M, Shibata H. 2005. Factors influencing early vegetation establishment following soil scarification in a mixed forest in northern Japan. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 175-188.
- Veblen T, Donoso C, Kitzberger T, Rebertus A. 1996. Ecology of Southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forest. En: Veblen T, Hall R, Read R (Eds). *The Ecology and Biogeography of Nothofagus forest*. Yale University Press, New Haven, 293-353 p.
- Wurtz T, Zasada J. 2001. An alternative to clear-cutting in the boreal forest of Alaska: a 27-year study of regeneration after shelterwood harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 999-1011.
- Zaczek J. 2002. Composition, diversity, and height of tree regeneration, 3 years after soil-scarification in a mixed-oak shelterwood. *Forest Ecology and Management* 163: 205-215.