



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-301

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Variabilidad en la germinación del material de reproducción forestal y crecimiento de las plantas a nivel intra e inter-procedencias en *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, una especie endémica de la zona mediterránea de Chile Central

SANTELICES MOYA, R.¹, ESPINOZA MEZA, S.¹, CABRERA ARIZA, A.¹, y MAGNI DÍAZ, C.²

¹Centro del Secano, Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule.

²Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.

Resumen

Nothofagus glauca es una especie endémica y característica de la zona mediterránea de Chile. Mediante el análisis de los patrones de germinación y crecimiento de las plantas en vivero, se estudiaron las diferencias entre dos procedencias (Cordillera de la Costa y Cordillera de Los Andes). En la investigación se utilizaron semillas de 4 a 5 sitios diferentes de cada procedencia. La siembra se efectuó en contenedores de 140 mL de cavidad y el cultivo se realizó en vivero durante ocho meses. La germinación, el crecimiento y la supervivencia fueron muy variables al interior de la procedencia. En los sitios andinos se observó menor capacidad germinativa (32,5%) y supervivencia de las plantas (75%), respecto de los de la Cordillera de la Costa (40 y 91%, respectivamente). La variabilidad al interior de la procedencia fue sistemáticamente más alta que la variabilidad entre procedencias, independientemente del atributo funcional considerado, lo que indicaría una alta capacidad potencial para adaptarse al cambio climático. Los sitios de la procedencia andina parecen tener estrategias adaptativas que podrían ser interpretadas como tolerancia al frío y pueden ser establecidos en ambientes de gran altitud, mientras que los de la costa deben limitarse a altitudes más bajas.

Palabras clave

Capacidad germinativa, roble maulino, procedencia, tamaño de semillas, crecimiento en vivero.

1. Introducción

La variación en la germinación de las semillas es un reflejo de las adaptaciones a las condiciones del sitio (GRIME et al. 1981, NISHITANI & MASUZAWA 1996), que influyen fuertemente en el crecimiento y supervivencia de los brinzales. Las procedencias de climas más fríos se adaptan a la estación de crecimiento más larga en altitudes más bajas, particularmente en especies caducifolias, pero sufren de heladas tempranas o tardías cuando se trasladan a altitudes más altas (BROADHURST & BOSHIER 2014).

La variabilidad en la respuesta germinativa de semillas de diferentes procedencias, poblaciones, individuos de la misma población o incluso de diferentes ubicaciones en la copa del mismo árbol individual, es bien conocida (SCHÜTZ & MILBERG 1997, MAMO et al. 2006). Como resultado de la respuesta a la germinación, no todas las semillas pueden responder igualmente a un estímulo dado. De hecho, se ha documentado un alto polimorfismo en las respuestas a la germinación en poblaciones de ambientes impredecibles en relación a aquellas de ambientes menos variables (MEYER & ALLEN 1999).

En el presente estudio, se investigaron aspectos de la germinación de las semillas y el crecimiento temprano de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser (*Lophozonia glauca*) Heenan et Smissen (roble maulino o hualo) (HEENAN & SMISSEN 2013). Esta es una especie endémica de la zona mediterránea de Chile que está clasificada por la UICN como vulnerable a la extinción (GONZÁLEZ 1998), debido a la fuerte presión antropogénica de su hábitat, particularmente a través de la tala y conversión a plantaciones con especies de rápido crecimiento (DONOSO 1993). En 1975, los bosques de *N. glauca* cubrían aproximadamente 900.000 ha



(URZÚA 1975), pero esta área se ha reducido a unas 175.000 ha (66% en la Cordillera de Los Andes y 34% en la Cordillera de La Costa) (CONAF-CONAMA-BIRF 1999). A pesar de su estado de conservación y la restricción de su hábitat, aún es poco conocido cuán variable es la respuesta de germinación entre las semillas de diferentes procedencias y si tales diferencias persisten durante la fase de crecimiento temprano de las plantas. SANTELICES et al. (1996) informaron que las procedencias costeras tenían un comportamiento de germinación diferente de las procedencias andinas de la especie.

La conservación y la utilización sostenible de los recursos genéticos de los bosques de *Nothofagus* dependen del conocimiento de la extensión y el patrón de variación intra-específica. En Chile, sin embargo, no hay suficiente conocimiento sobre la germinación de semillas de esta especie (BURGOS et al., 2008). Esta especie se distribuye desde los 34° 80' S a los 37° 82' S (LE-QUESNE y SANDOVAL, 2001), encontrándose procedencias de altitudes bajas restringidas a sitios húmedos costeros (Santelices et al. 2013) y procedencias andinas de altitudes altas. Estas diferencias en las condiciones del hábitat presentan una base para plantear la hipótesis de que diferentes procedencias de *N. glauca* pueden dar lugar a diferentes respuestas de germinación y capacidades de crecimiento. Las plantas de procedencias andinas tendrían mecanismos de adaptación para ambientes de mayor altitud mientras que en las procedencias costeras los mecanismos de adaptación serían para ambientes de baja altitud.

2. Objetivos

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la procedencia y la variabilidad intra-procedencia en la germinación y crecimiento de *N. glauca* en un experimento llevado a cabo en condiciones de vivero.

3. Metodología

3.1. Selección del sitio

Se estudiaron dos procedencias de *N. glauca* en la Región del Maule en Chile Central: Cordillera de Los Andes y Cordillera de La Costa (Figura 1). Estas procedencias son relativamente cercanas (distancia máxima de 150 km), pero fueron seleccionadas porque mostraban diferencias importantes en las condiciones ambientales (Tabla 1). Se cosecharon semillas de cuatro sitios de la procedencia andina y de cinco sitios de la procedencia costera. Considerando que los árboles de *N. glauca* en el límite vegetacional de crecimiento pueden experimentar un estrés extremo, no se colectaron semillas en ese rango. La distancia mínima entre dos sitios fue de aproximadamente 30 km y fueron separados por algún tipo de rasgo topográfico como la cumbre de una montaña, bosque, ciudad o río.

3.2. Especie en estudio

N. glauca es una especie caducifolia endémica de la zona mediterránea de Chile, monoica, polinizada por el viento y dispersada por pequeños mamíferos. Su hábitat en la Cordillera de La Costa está restringido a sitios montañosos húmedos, alrededor de 100 a 700 m de altitud, en donde la precipitación anual varía de 844 a 1.264 mm (SANTELICES et al., 2013), concentrándose durante el invierno y la primavera. En la Cordillera de Los Andes crece alrededor de 1.000 a 1.600 msnm, donde la precipitación media anual es de aproximadamente 1.550 mm. Las nueces de los *Nothofagus* no están adaptadas para la dispersión a larga distancia (DONOSO 1993). Las flores femeninas producen frutos con tres semillas. Maduran de noviembre a abril, produciéndose la dispersión de las semillas al final de este periodo (DONOSO y RAMÍREZ 1994). La germinación es de julio a septiembre y las semillas son sensibles a la desecación y no forman un banco de semillas (DONOSO 1975). Un rasgo característico de las especies de *Nothofagus* es su vecería (WARDLE 1984, VELEN et al. 1996), con picos separados por 3 a 4 años (DONOSO, 1975).



Tabla 1. Datos geográficos y climáticos de las procedencias y los sitios muestreados.

Procedencia	Sitio	UTM W (m)	UTM S (m)	Altitud (msnm)	PMA (mm año ⁻¹)	TMA (°C)
Andina	Las Lomas (LO)	320325	6100247	1.590	1.473	10,3
	Vilches (VI)	312209	6063144	1.390	1.315	10,3
	Los Boldos (BO)	301134	6043585	1.150	1.235	9,3
	El Melado (ME)	318464	6033156	1.200	2.086	8,9
Costera	Licantén (LI)	227317	6125186	163	708	13,1
	Coipué (CO)	766281	6096054	198	709	13,9
	Costa Azul (CA)	731298	6081970	35	837	13,7
	Curanipe (CU)	717687	6027040	35	837	13,7
	Tregualemu (TR)	706395	6009737	40	750	14,1

PMA = Precipitación media anual, TMA = Temperatura media anual.

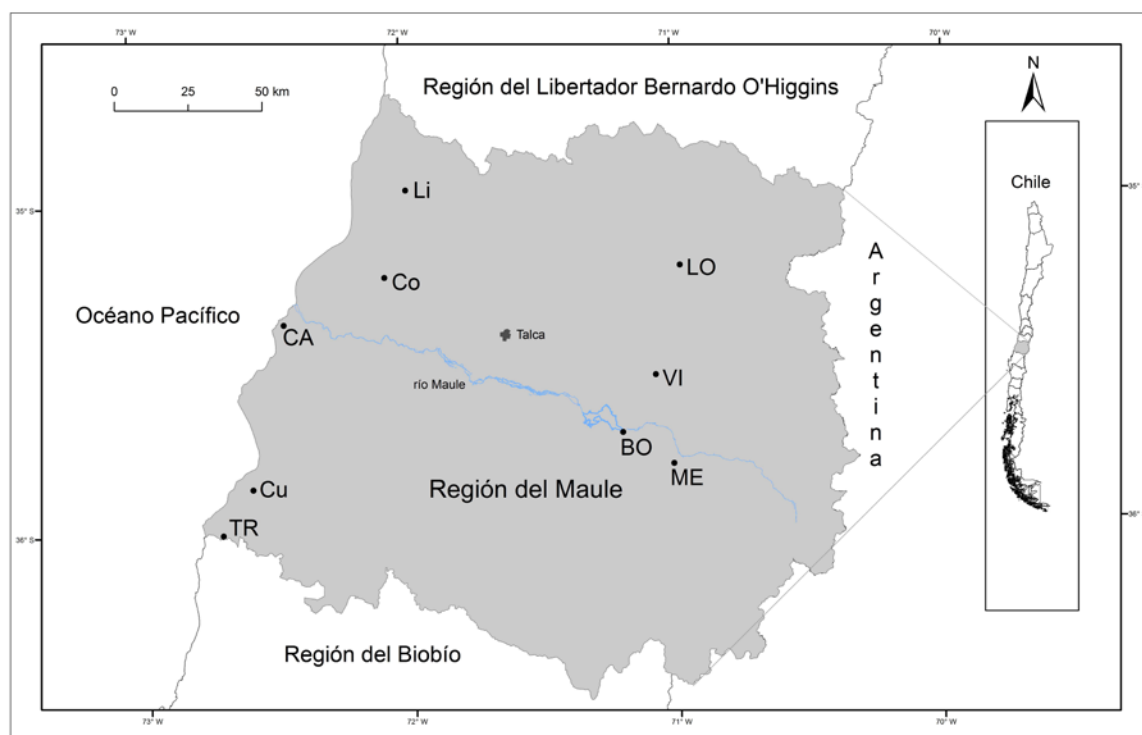


Figura 1: Ubicación de los sitios de recolección de semillas de *Nothofagus glauca*

El número de árboles muestreados por sitio varió de 6 a 12, dependiendo de la disponibilidad de individuos maduros reproductivos en el momento de la cosecha de las semillas. Se tomaron muestras de un total de 94 árboles madre. Se procuró elegir individuos que crecieran bajo condiciones climáticas y edáficas similares dentro de un sitio. Los árboles seleccionados para la cosecha de las semillas estuvieron separados a una distancia de 100 m uno de otro. Las semillas se colectaron y luego se transportaron al laboratorio para su procesamiento; se separaron



manualmente de los frutos y del resto del material vegetal y se almacenaron en frascos de vidrios en la oscuridad a 4° C durante seis meses hasta que fueron usadas. Se siguieron las normas ISTA (2006) para limpiar y sembrar las semillas. La masa de semilla (MS) se expresó como la masa media de 1.000 semillas.

El estudio se realizó en un invernadero ubicado en la Universidad Católica del Maule, Talca, Chile (35° 26'S, 71° 37'W, 131 m de altitud). Las semillas se remojaron en agua durante 36 h y después de eliminar las que flotaron se sembraron 30 semillas por árbol en una mezcla de suelo con aserrín en camas calientes de 10 m de largo y 1 m de ancho, a 20° C de temperatura. Todas las camas se regaron cuatro veces al día por medio de riego por aspersión con agua ionizada. El porcentaje de germinación se registró a intervalos diarios después de que se observó la primera emergencia. Las semillas cuyos cotiledones habían emergido fueron consideradas como germinadas. La duración mínima de una prueba fue de 30 días, y el conteo continuó hasta que no hubo germinación durante cinco días sucesivos. Se determinó la capacidad de germinación (CG), expresada como la proporción del número total de semillas germinadas a la de semillas sembradas.

En el ensayo de crecimiento y supervivencia, las semillas germinadas fueron sembradas en contenedores de 140 mL (Termomatrices®) y cultivadas durante ocho meses en vivero (desde mediados de septiembre hasta mediados de mayo). Como medio de cultivo se utilizó una mezcla de corteza de pino radiata y perlita (7: 3, v/v), más el fertilizante de liberación lenta Basacote® 9 M (16% de N; 8% de P₂O₅; 12% de K₂O; 12% de SO₃; 2% de MgO; 0,02% de B; 0,05% de Cu; 4% de Fe; y 0,06% de Mn), en una dosis de 4 g L⁻¹ de sustrato. Las plantas fueron protegidas mediante una sombra utilizando una malla de plástico del 50% (Raschel®). Fueron regadas manteniendo el sustrato a capacidad de campo. Durante este período, la temperatura media y la humedad relativa se situaron entre los 14 y 20° C y 60 a 70%, respectivamente. En el diseño experimental se consideraron dos procedencias, nueve sitios, y nueve réplicas de nueve plantas por repetición, es decir, 1.458 plantas en total (2x9x9x9 = 1.458 plantas). Después de ocho meses de efectuada la siembra, se midió la altura total en cm (H), el diámetro del cuello de la raíz en mm (D) y la supervivencia (SUP) en todas las plantas. La supervivencia se midió de acuerdo con una escala categórica (es decir, 1 = vivo, 0 = muerto).

Todos los tratamientos se analizaron mediante un análisis de varianza bidireccional, utilizando un diseño anidado. El sitio es un factor anidado aleatorio dentro de la procedencia, la procedencia es un factor fijo y la masa de las semillas es la covariable, que se probó tanto en la procedencia como en el sitio. Se utilizó la versión 18 del programa SPSS. Los valores medios que mostraron diferencias significativas se compararon con la prueba de Tukey a $p \leq 0,05$. Los resultados de todas las pruebas se presentan como porcentaje de germinación final y como factor de Czabator (CZABATOR 1962), que combina la máxima germinación media diaria, denominada valor de pico, y la germinación diaria media al final de la prueba para formar una estadística denominada el "valor de germinación". En el experimento de crecimiento, las comparaciones para las variables categóricas (es decir, SUP) se realizaron usando una prueba de Chi cuadrado.

4. Resultados

4.1. Variabilidad intra e inter procedencia en la germinación de semillas

La procedencia y el sitio dentro de la procedencia tuvieron efectos significativos en la mayoría de los rasgos bajo consideración. Sin embargo, cuando se analizó la masa de semilla como covariable, no se detectó influencia ni en la capacidad germinativa ni en el valor de germinación (Tabla 2). La capacidad germinativa media global de las semillas de *N. glauca* en condiciones de vivero fue baja (36,8%) aunque hubo variabilidad dependiendo del lugar de origen. La capacidad germinativa media de las semillas de la procedencia andina oscila entre un 19% y un 48% en los sitios de El Melado y Las Lomas, respectivamente. En la procedencia costera, también se encontraron diferencias, la capacidad germinativa varió entre un 45% y un 27% entre los sitios Coipué y Curanipe, respectivamente. Para los valores de germinación, sólo se



produjeron diferencias significativas entre los sitios y no entre procedencias. El valor de germinación varió de 0,15% para semillas del sitio El Melado a 2,78% para el sitio Las Lomas. La masa de semillas fue diferente en ambas procedencias y sitios dentro de las procedencias (Tabla 3).

4.2. Variabilidad intra e inter procedencia en el crecimiento y supervivencia de las plantas

La procedencia no tuvo efectos significativos en el crecimiento diametral y en altura de las plantas de *N. glauca*, pero sí hubo diferencias en la supervivencia (Tabla 2). Sin embargo, para todos los rasgos evaluados, hubo efectos intra-procedencia significativos (Tabla 2). Los individuos del sitio Licantén produjeron las plántulas más grandes en el vivero. La supervivencia en vivero de las plantas fue similar para la mayoría de los sitios (media del 92%), con la excepción de las plántulas del sitio El Melado, que tuvo la tasa de supervivencia más baja (Tabla 3).

Tabla 2. Nivel de significancia para los efectos de procedencia, intra-procedencia y la covariable (masa de semilla), en la germinación, crecimiento y supervivencia de plantas de *Nothofagus glauca*. Valores estadísticamente significativos ($P < 0,05$) en **negrita**.

Fuente de variación	gl	CG	VG	MS	D	H	SUP
Covariable							
Masa de semilla	1	0,390	0,662	-	0,497	0,248	0,762
Efectos principales							
Procedencia	1	0,041	0,979	0,001	0,758	0,879	0,002
Sitio (Procedencia)	7	0,039	0,000	0,000	0,006	0,017	0,000
Error	84						

CG = Capacidad germinativa (%), VG = Valor de germinación (%), MS = Masa de semilla (1.000 semillas) (g), D = diámetro de cuello (mm), H = altura (cm), SUP = supervivencia (%), gl = grados de libertad.



Tabla 3. Media \pm error estándar para parámetros de germinación, masa de semilla, crecimiento y supervivencia de plantas de *Nothofagus glauca*.

Variable	Sitios andinos					Sitios costeros					Media general	
	LO	VI	BO	ME	Media	LI	CO	CA	CU	TR		Media
CG	48,20 \pm 5,03	29,24 \pm 5,29	34,41 \pm 6,34	19,29 \pm 5,17	33,13 \pm 3,08	43,41 \pm 8,07	45,19 \pm 8,12	43,39 \pm 7,67	27,73 \pm 4,74	42,83 \pm 11,52	40,21 \pm 3,46	36,8 \pm 2,35
VG	2,78 \pm ,48	0,64 \pm ,18	0,85 \pm ,23	0,15 \pm ,08	1,14 \pm ,21	1,99 \pm ,57	1,78 \pm ,51	0,84 \pm ,20	0,47 \pm ,07	0,33 \pm 10	1,13 \pm ,19	1,14 \pm 0,14
MS	2,296 \pm 95	2,399 \pm 78	2,626 \pm 67	2,234 \pm 116	2,387 \pm 49	2,258 \pm 104	1,779 \pm 101	2,311 \pm 117	2,125 \pm 111	2,385 \pm 209	2,148 \pm 60	2,262 \pm \pm 41
D	2,48 \pm ,08	2,24 \pm ,08	2,29 \pm ,11	2,46 \pm ,11	2,36 \pm ,05	2,58 \pm ,09	2,50 \pm ,08	2,22 \pm ,06	2,22 \pm ,02	2,16 \pm 12	2,34 \pm ,04	2,35 \pm 0,03
H	12,5 \pm ,86	12,4 \pm ,91	12,3 \pm ,85	10,6 \pm ,68	12,10 \pm 0,43	14,1 \pm ,83	11,7 \pm ,92	10,1 \pm ,60	10,4 \pm ,44	11,7 \pm 10	11,54 \pm 0,38	11,8 \pm 0,28
SUP	93,3 \pm ,97	95,1 \pm ,18	89,9 \pm ,19	25,5 \pm 3,25	76,3 \pm ,50	84,5 \pm ,65	87,4 \pm ,91	94,6 \pm ,13	98,2 \pm ,80	95,1 \pm 12	91,3 \pm ,89	84,1 \pm 3,11

CG = Capacidad germinativa (%), VG = Valor de germinación (%), MS = Masa de semilla (1.000 semillas) (g), D = diámetro de cuello (mm), H = altura (cm), SUP = supervivencia (%). LO = Las Lomas, VI = Vilches, BO = Los Boldos, ME = El Melado, LI = Licantén, CO = Coipué, CA = Costa Azul, CU = Curanipe, TR = Tregualemu.

5. Discusión

5.1. Germinación entre procedencias y sitios

Los requisitos de germinación de una especie son rasgos adaptados al sitio donde crecen las especies (MEYER et al. 1995, GRIME et al. 1981, NISHITANI & MASUZAWA 1996). Además, las semillas de diferentes áreas del rango de distribución de una especie suelen mostrar variabilidad en la germinación. En el presente estudio, la capacidad de germinación fue altamente variable para las procedencias y sitios, de un 19% a un 48%. Claramente, el sitio donde se cosechó la semilla influye fuertemente en la respuesta de germinación. Sin embargo, las características de la germinación no sólo se ven afectadas por las condiciones ambientales actuales, sino también por las condiciones del sitio donde vivían las plantas madre (ROACH & WULFF 1987, BASKIN & BASKIN 2014). La variabilidad intra-poblacional en la germinación es un resultado común en los árboles forestales como consecuencia de factores genéticos (VAN DER VEGTE 1978) y las variaciones climáticas durante la maduración de las semillas (MEYER & ALLEN 1999). Las diferencias en la germinación de las semillas también se observan en las semillas de diferentes plantas madre de la misma población, lo que apoya la afirmación de que el genotipo de los individuos también tiene una influencia importante en el proceso de germinación. En nuestro estudio, parece que los efectos de la madre (es decir, efectos intra-procedencia), a diferencia de la masa de la semilla, también podrían afectar la germinación de las semillas.

La germinación está influenciada por la altitud en la que se cosecha la semilla (HOLM 1994). Según DONOSO (1979), los climas marginales para el desarrollo de semillas en altas altitudes pueden conducir a una maduración incompleta de las semillas que, a veces, es difícil de detectar visualmente, pero puede revelarse durante la germinación y posterior desarrollo de las plantas. En el presente estudio, la procedencia andina tuvo una capacidad de germinación media significativamente inferior (32,5%) respecto de la procedencia costera (40%), lo que podría sugerir que la germinación está relacionada con la distribución altitudinal de las dos procedencias. La altitud de las procedencias de la Cordillera de Los Andes oscila entre 1.100 y 1.600 m, mientras que la procedencia costera es inferior a los 200 m de elevación. Es conocido que el desarrollo de las semillas podría ser afectado adversamente debido a condiciones climáticas desfavorables (DONOSO 1979). Aunque el vivero donde se cultivaron las plantas está localizado a una altitud de 100 msnm, el bajo porcentaje de germinación de la procedencia andina no podría atribuirse a los efectos del vivero, ya que éstos pueden no ser evidentes hasta que el



material plantado tenga entre un tercio y la mitad de la edad de rotación (CAMPBELL & SORENSEN 1984). Las diferencias observadas en la capacidad germinativa pueden atribuirse a los efectos maternos, que son comunes en rasgos tales como el tamaño y la germinación de las semillas y pueden afectar el crecimiento temprano de las plántulas. En la fase de siembra, una gran proporción de la variación está bajo control materno. Las características de la germinación no sólo se ven afectadas por las condiciones ambientales actuales sino que también por las condiciones experimentadas por las plantas madre en la generación anterior (ROACH & WULFF 1987, BASKIN & BASKIN 2014). Esto significa que las diferencias genéticas entre las plantas maternas podrían explicar la mayor parte de la variación de la capacidad de germinación observada. Sin embargo, esta hipótesis necesita más investigación y en el caso de *N. glauca* se requiere un estudio de generación múltiple, considerando el empleo de semillas de diferentes años debido a la vecería de la especie.

SANTELICES et al. (1996), también encontraron una baja capacidad germinativa en un estudio con *N. glauca* en el que se compararon algunas procedencias andinas y otras costeras (9 y 56%, respectivamente). La menor capacidad de germinación en los sitios de procedencia andina (por ejemplo El Melado) podría estar relacionada con la mayor altitud y baja temperatura de este sitio. El daño causado por heladas en los brotes y en las flores ha sido observado por varios autores. En el caso de *Nothofagus menziesii* (Hook. F.) Oerst), el número total de semillas, el número de semillas maduras y la calidad de las semillas, disminuyeron a medida que aumentó la altitud (MANSON 1974). Sin embargo, MARIKO et al. (1993) informaron que las semillas de las altitudes superiores (por encima de 1.500 m) mostraron una germinación y una tasa de germinación significativamente más altas que las de las altitudes inferiores (por debajo de 1.400 m), lo que apoya la afirmación de que la capacidad germinativa también depende de la especie. En este sentido, el efecto del ambiente de las plantas madre en el estado de germinación de las semillas podría causar una gran variación dentro de una región o incluso dentro de una población (BASKIN & BASKIN 1973, FENNER 1991). También se sabe que la duración del día y las condiciones de temperatura experimentadas por las plantas madre durante la producción de semillas pueden influir en el potencial adaptativo de la progenie en especies como *Picea abies* (L.) Karst. (SKRØPPA et al. 2010).

No se encontró una relación entre la masa de semilla y la capacidad de germinación, ya sea para procedencias o sitios dentro de las procedencias. En el sitio de Coipué (procedencia costera), las semillas más livianas (1,8 g semilla⁻¹) mostraron la mayor capacidad de germinación (45%), mientras que en las semillas más pesadas (El Boldo, procedencia andina con 2,6 g semilla⁻¹) este valor fue de 34%. Pareciera que la regla semillas más grandes = mayor tasa de germinación no se observa con todas las especies, como en este caso con *N. glauca*. Esto sugiere que la masa de la semilla podría estar menos afectada al nivel de procedencia (para ambas procedencias la media del peso de 1.000 semillas fue de 2,2 g) y estaría más asociada con los sitios individuales, y es muy probable que sea conducido por las diferencias de micrositio experimentado por cada árbol madre individual.

5.2. Supervivencia y crecimiento entre procedencias y sitios

En nuestro estudio, a pesar de las diferencias climáticas y altitudinales entre las procedencias (Tabla 1), hubo cierto debilitamiento de la diferenciación de procedencias en diámetro y altura. Las diferencias sólo se atribuyeron a variaciones en el comportamiento de las semillas de las plantas madre individuales. Los efectos maternos también influyen en la etapa temprana de la plántula de un genotipo (ROACH & WULFF 1987). La altura y el diámetro promedio de las plantas de los sitios de mayor altitud fueron similares a los de las plantas de altitudes más bajas ($P > 0,05$), aunque la supervivencia fue generalmente mayor en los últimos sitios (media del 91% en promedio). Sin embargo, la varianza intra-procedencia excedió la varianza de procedencia (datos no mostrados), lo que indicaría que

las diferencias genéticas entre las plantas maternas podrían explicar la mayor parte de la variación inter-individual del crecimiento diametral y en altura observada.

Se podría esperar una mayor supervivencia y crecimiento en aquellas plantas germinadas a partir de semillas más grandes, debido a las mayores cantidades de sustancias nutritivas que poseen (HARPER 1977). Sin embargo, a pesar de que se encontraron diferencias estadísticas para la masa de semilla a nivel de procedencia e intra-procedencia, no se encontró una relación entre la supervivencia y la masa de la semilla. Esto podría explicarse porque las semillas *N. glauca* son de un tamaño mayor al de otras especies, teniendo las semillas más pequeñas menos reservas, y también porque el mayor crecimiento y supervivencia de las plantas procedentes de semillas más grandes es más evidentes en suelos pobres en nutrientes (MILBERG & LAMONT 1997). En nuestro estudio se utilizaron $0,64 \text{ kg m}^{-3}$ de N, lo que parece ser suficiente para el crecimiento y supervivencia de las plantas de *N. glauca*. Al igual que con la capacidad germinativa, la menor supervivencia en el sitio de procedencia andina El Melado podría estar relacionada con la mayor altitud y baja temperatura de este sitio. En otros estudios en vivero, con semillas procedentes de diferentes altitudes, se sugiere que la supervivencia de las plantas disminuye a medida que aumenta la altitud (WARDLE 1984).

En Chile, el conocimiento sobre las variaciones intra e inter procedencias de *N. glauca* es insuficiente y, a pesar de que se puede cuestionar el uso de plantas de 8 meses cultivadas en vivero para estimar la capacidad de crecimiento de árboles maduros en el campo, nuestro estudio revela la existencia de una variación considerable dentro de la procedencia en las características de germinación y desarrollo de las plantas de esta especie. Dado que los estudios de variabilidad son un requisito previo para planificar estrategias efectivas de recolección de germoplasma para la restauración forestal y la conservación de especies (ERIKSSON 2014), los resultados del presente estudio sugieren que estas variaciones intra-procedencia, obtenidas de una muestra de nueve sitios en ambas procedencias y un total de 94 árboles madre (que es suficiente para representar la diversidad genética de una especie polinizada por el viento, JALONEN et al., 2014), podría ser una indicación preliminar para desestimar una mezcla de las procedencias (BREED et al. 2013). Los resultados sugieren que se debe tener cuidado en la elección de una procedencia apropiada para fines de restauración, considerando para estos efectos semillas de fuentes locales, tanto para las procedencias costeras como andinas. Dado que las procedencias andinas parecen estar adaptadas a sitios fríos y las procedencias costeras a sitios más húmedos, sugerimos que ambas procedencias, por ejemplo, no se establezcan en sitios de tierras secas.

6. Conclusiones

La variación intra-procedencia fue mayor que la variabilidad inter-procedencia en la mayoría de los rasgos analizados y jugó un papel significativo en la capacidad germinativa, el crecimiento y la supervivencia de las plantas de *N. glauca*. Las procedencias andinas parecen tener estrategias de adaptación que pueden ser interpretadas como tolerancia al frío y podrían establecerse en ambientes de mayor altitud, mientras que las procedencias costeras deben estar restringidas a tierras más bajas y ambientes de esa condición. Estos resultados, si bien tienen la restricción de ser obtenidos en plantas cultivadas en vivero, muestran la importancia de utilizar fuentes de semillas de procedencias adecuadas en las plantaciones a gran escala. En todo caso, futuros estudios de germinación y crecimiento de brinzales de *N. glauca*, deberían relacionarse con el desempeño del material vegetal en campo.

7. Agradecimientos

Agradecemos a las estudiantes Susana Acevedo y Cecilia Urrea por su valioso apoyo en la recolección de semillas y en la configuración del experimento, y a la Universidad Católica del Maule por proporcionar instalaciones para llevar a cabo esta investigación.

8. Bibliografía

BASKIN, JM; & BASKIN, CC. 1973. Plant population differences in dormancy and germination characteristics of seeds: heredity or environment? *American Midland Naturalist* 90, 493-498.

BASKIN, CC; & BASKIN, JM. 2014. *Seeds Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. San Diego, USA. Academic Press.

BREED, MF; STEAD, MG; OTTEWELL, KM; GARDNER, MG; & LOWE, AJ. 2013. Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conservation Genetics* 14, 1-10.

BROADHURST, L; & BOSHIER, D. 2014. Seed provenance for restoration and management: conserving evolutionary potential and utility. In: BOZZANO M, JALONEN R, THOMAS E, BOSHIER D, GALLO L, STEPEHN C, BORDÁCS S, SMITH P, LOO J (eds.), *Genetic Considerations in Ecosystem restoration using native tree species*. pp. 27-38. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

BURGOS, A, GREZ AA, & BUSTAMANTE, RO. 2008. Seed production, pre-dispersal seed predation and germination of *Nothofagus glauca* (*Nothofagaceae*) in a temperate fragmented forest in Chile. *Forest Ecology and Management* 255, 1226-1233.

CAMPBELL, RK, & SORENSEN, FC. 1984. Genetic Implications of Nursery Practices. In: DURYEA ML, LANDIS TD (eds). *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. pp 183-191. The Hague/Boston/Lancaster for Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis.

CONAF-CONAMA-BIRF. 1999. *Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile*. Informe Regional VII Región. Proyecto CONAF-CONAMA-BIRF.

CZABATOR, FJ. 1962. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8, 386-396.

DONOSO, C. 1975. Aspectos de la fenología y germinación de las especies de *Nothofagus* de la zona mesomórfica. Boletín Técnico No. 34. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile.

DONOSO, C. 1979. Genecological differentiation in *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. in Chile. *Forest Ecology and Management* 2, 53-66.

DONOSO, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

DONOSO, C, & RAMÍREZ, GC. 1994. Arbustos nativos de Chile: guía de reconocimiento. Valdivia, Chile. Ediciones Marisa Cuneo.

ERIKSSON, G. 2014. Collection of propagation material in the absence of genetic knowledge. In: BOZZANO M, JALONEN R, THOMAS E, BOSHIER D, GALLO L, CAVERS S, BORDÁCS S, SMITH P, LOO J (eds.), Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. State of the World's Forest Genetic Resources. pp. 79-84. Thematic Study. Rome, FAO and Bioversity International.

FENNER, M. 1991. The effects of the parent environment on seed germinability. *Seed Science Research* 1, 75-84.

GONZÁLEZ, M. 1998. *Nothofagus glauca*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2. <ftp://www.iucnredlist.org>. Accessed 15 July 2015.

GRIME, JP, MASON, G, CURTIS, AV, RODMAN, J, BAND, SR, MOWFORTH, MAG, NEAL, AM, & SHAW, S. 1981. A comparative study of germination characteristics in a local flora. *Journal of Ecology* 69, 1017-1059.

HARPER, JL. 1977. Population Biology of Plants. London. Academic Press Inc.

HEENAN, PB, & SMISSEN, RD. 2013. Revised circumscription of *Nothofagus* and recognition of the segregate genera *Fuscospora*, *Lophozonia*, and *Trisyngyne* (*Nothofagaceae*). *Phytotaxa*, 146, 1-31.

HOLM, SO. 1994. Reproductive patterns of *Betula pendula* and *B. pubescens* Coll. along a regional altitudinal gradient in northern Sweden. *Ecography* 17, 60-72.

ISTA. 2006. International Rules for Seed Testing. Edition 2006. International Seed Testing Association (ISTA). Bassersdorf, Switzerland.

JALONEN, R, THOMAS, E, CAVERS, S, BOZZANO, M, BOSHIER, D, BORDÁCS, S, GALLO, L, SMITH, P, & LOO, J. 2014. Analysis of genetic considerations in restoration methods. In: BOZZANO M, JALONEN R, THOMAS E, BOSHIER D, GALLO L, CAVERS S, BORDÁCS S, SMITH P, LOO J (eds.), Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. State of the World's Forest Genetic Resources. pp. 245-273. Thematic Study. Rome, FAO and Bioversity International.

LE-QUESNE, C, & SANDOVAL, L. 2001. Extensión del límite sur para *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. *Gayana Botánica* 58, 139-142.

MAMO, N, MIHRETU, M, FEKADU, M, TIGABU, M, & TEKETAY, D. 2006. Variation in seed and germination characteristics among *Juniperus procera* populations in Ethiopia. *Forest Ecology and Management* 224, 320-327.

MANSON, B.R. 1974. The life history of silver beech (*Nothofagus menziesii*). *Proceedings of the New Zealand Ecological Society* 21, 27-31.

- MARIKO, S, KOIZUMI, H, SUZUKI, J, & FURUKAWA, A. 1993. Altitudinal variations in germination and growth responses of *Reynoutria japonica* populations on Mt. Fuji to a controlled thermal environment. *Ecological Research* 8, 27-34.
- MEYER, SE, KITCHEN, SG, & CARLSON, SL. 1995. Seed germination-timing patterns in intermountain Penstemon (Scrophulariaceae). *American Journal of Botany* 82, 377-389.
- MEYER, SE, & ALLEN, PS. 1999. Ecological genetics of seed germination regulation in *Bromus tectorum* L. I. Phenotypic variance among and within populations. *Oecologia* 120, 27-34.
- MILBERG, P, & LAMONT, BB. 1997. Seed/cotyledon size and nutrient content play a major role in early performance of species on nutrient-poor soil. *New Phytologist* 137, 665-72.
- NISHITANI, S, & MASUZAWA, T. 1996. Germination characteristics of two species of *Polygonum* in relation to their altitudinal distribution on Mt. Fuji, Japan. *Arctic and Alpine Research* 28, 104-110.
- ROACH, DA, & WULFF, RD. 1987. Maternal effects in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18, 209-235.
- SANTELICES, R, RIQUELME, M, & ROJAS, F. 1996. Aspectos sobre la semilla y germinación de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser de dos procedencias de la VII Región. *Ciencia e Investigación Forestal* 10, 297- 305.
- SANTELICES, R, DONOSO, C, & CABELLO, A. 2013. *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, Hualo, Roble maulino, Roble colorado (Maule). Familia: *Nothofagaceae*. In: DONOSO C (ed.) *Las Especies Arbóreas de los Bosques Templados de Chile y Argentina*. Autoecología. pp. 433-442. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones.
- SCHÜTZ, W, & MILBERG, P. 1997. Seed dormancy in *Carex canescens*: regional differences and ecological consequences. *Oikos* 78, 420-428.
- SKRØPPA, T, METTE, M, SPERISEN, CH, & JOHNSEN, Ø. 2010. Rapid change in adaptive performance from one generation to the next in *Picea abies* - Central European trees in a Nordic environment. *Tree Genetics and Genomes* 6, 93-99.
- URZÚA, A. 1975. Cambio de estructura en el bosque de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. Tesis Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Chile.
- VAN der VEGTE, FW. 1978. Population differentiation and germination ecology in *Stellaria media* (L.) Vill. *Oecologia* 37, 231-245.
- VEBLEN, TT, READ, J, & HILL RS. 1996. *The Ecology and Biogeography of Nothofagus Forests*. New Haven, USA. Yale University Press.

WARDLE, JA. 1984. The New Zealand beeches: ecology, utilisation and management. Christchurch, New Zealand Forest Service.

