

# REPOBLAMIENTO FORESTAL EN SUELOS ÑADI (AQUANDS) DEL SUR DE CHILE: EFECTOS DEL DRENAJE SOBRE EL ESTABLECIMIENTO DE *ALNUS GLUTINOSA*, *EUCALYPTUS NITENS* Y *PINUS RADIATA*

Oscar Alfredo Thiers Espinoza. Ingeniero Forestal, Doctor en Recursos Naturales.  
Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos  
Naturales. [othiers@uach.cl](mailto:othiers@uach.cl). Teléfono: +56-63-293553, Valdivia, Chile.

Víctor Rodolfo Gerding Salas. Ingeniero Forestal, Doctor en Ciencias Forestales.  
Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos  
Naturales. [vgerding@uach.cl](mailto:vgerding@uach.cl).

Roberto Andrés Vallejos Obando, Ingeniero Forestal. Universidad Austral de  
Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales.  
[roberto.vallejos@alumnos.uach.cl](mailto:roberto.vallejos@alumnos.uach.cl).

Dante Carlo Corti González, Ingeniero Forestal, M.Sc. Instituto Forestal de Chile,  
sede Región de Los Ríos. [dcorti@infor.cl](mailto:dcorti@infor.cl).

## Resumen

Los suelos ñadi (Aquands) se distribuyen en el sur de Chile (38°-43°S), cubriendo cerca de 500.000 hectáreas. Su principal limitante es el exceso de humedad durante gran parte del año. El drenaje del suelo resulta esencial para su uso productivo. Se evaluó el efecto de técnicas de drenaje sobre el desarrollo de plantaciones con *Alnus glutinosa*, *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata* en suelos ñadi. Se emplearon tres niveles de drenaje: (A) arado en surco y formación de camellones, (B) drenaje topo y (C) testigo sin manejo. En los árboles se registró sobrevivencia, diámetro, altura, vitalidad de la copa y calidad del fuste. Durante los tres primeros años la sobrevivencia fue alta (95±4%) en todos los casos, posteriormente decayó (90-87%), principalmente en los testigos (70-85%). El drenaje mejoró el crecimiento de las especies durante los tres primeros años. A los trece años se amplió el efecto de (A); el área basal con (A) en *E. nitens* fue 50-60 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y en *P. radiata* 30-40 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos testigos de ambas especies no superaron 20 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. *Alnus glutinosa* exhibió menor respuesta en todo el ensayo (2-4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>). La calidad maderera de la producción fue muy baja, sólo *E. nitens* con (A) mostró mayor presencia (50%) de individuos de buena calidad. La vitalidad de las copas fue baja (categorías de degeneración y estancamiento). Sólo *E. nitens* con (A) presentó individuos (10%) en la categoría de exploración. El drenaje de los ñadis mostró respuesta parcial y temporal durante la rotación. La producción forestal intensiva en ñadis es limitada y requiere de un enfoque particular de las características y propiedades físicas y químicas de este tipo de suelos de cenizas volcánicas.

**Palabras claves:** Silvicultura de plantaciones, régimen hídrico del suelo, Andisoles, producción forestal, vitalidad de copas.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos ñadi (Aquands) se distribuyen en el sur de Chile (38°-43°S), abarcando una superficie cercana a 500.000 hectáreas en las regiones de Los Ríos y Los Lagos. Corresponden a suelos hidromórficos derivados de cenizas volcánicas holocénicas y su principal característica es un anegamiento temporal en períodos de máxima precipitación. Esta limitante dificulta una producción forestal intensiva, por cuanto el exceso de humedad disminuye el espacio arraigable (falta de oxígeno y presencia de condiciones de óxido-reducción) y restringe la productividad. El manejo con tratamientos de drenaje favorece el establecimiento y crecimiento inicial de cultivos forestales en este tipo de suelos.

Las especies de uso forestal intensivo presentes en Chile -*Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*- restringen su crecimiento en condiciones de anegamiento temporal. Bajo estas condiciones, los árboles pierden vigor y aumentan la susceptibilidad a patógenos, causando senescencia y abscisión del follaje, lo que deriva en menor vitalidad y productividad del árbol.

En el año 1996 el Instituto Forestal (INFOR) sede Valdivia y la Universidad Austral de Chile (UACH), desarrollaron un proyecto para validar tecnologías de establecimiento en plantaciones forestales con diferentes especies, tanto nativas como exóticas, en suelos ñadi de la región de Los Lagos. El propósito del estudio consistió en evaluar el establecimiento de estas especies bajo diferentes condiciones de manejo físico del suelo -tratamientos de drenajes- y, generar información básica para el desarrollo de una industria forestal basada en la producción forestal en suelos ñadi.

El presente estudio tiene por objetivo evaluar, trece años después del establecimiento, el desempeño productivo y cualitativo de plantaciones forestales con *Alnus glutinosa*, *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata*, bajo diferente tipos de drenajes en suelos ñadi de la Región de Los Lagos. Para ello se desarrollan los siguientes objetivos específicos:

- a) Analizar el efecto de los tratamientos de drenaje del suelo sobre la tasa de sobrevivencia de las plantaciones,
- b) Analizar la vitalidad y calidad actual de las plantaciones,
- c) c) Evaluar el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento -ocupación y dimensión- de las especies luego de 13 años de establecidas las plantaciones.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Área de estudio

El ensayo se ubicó en el predio Quemadas Blancas (41°36'S; 73°13'O; 85 m snm), localidad de Calbuco, Chile. El clima es marino fresco (Cfsb1) (Di Castri y Hajek 1976), con precipitaciones anuales de 1.700-1.900 mm, distribuidas durante todo el año. Las máximas temperaturas mensuales promedio en enero alcanzan a 13 °C, mientras que las temperaturas mínimas absolutas en julio fluctúan entre -10 y -2,5 °C. Existen fuertes vientos del oeste durante los meses estivales. El período anual libre de heladas alcanza a cuatro meses (Hansen 2001).

Los terrenos son bajos, planos a ligeramente ondulados (0-1% de pendiente). El suelo es de origen volcánico (andisol) y pertenece a la serie Alerce (duric histic plaquands) (Tosso 1985). Son suelos muy delgados a delgados (25-50 cm de espesor) de material volcánico depositado sobre substrato fluvio-glacial de gravas redondeadas y arenas. En la zona de contacto entre ambos materiales es frecuente un horizonte plácico rico en hierro y manganeso -duripan- conocido como fierrillo, que dificulta más el paso de raíces y agua (Mella y Kühne, 1985). Lo anterior genera un drenaje interno del suelo lento a muy lento, que produce saturación hídrica durante los meses de mayor precipitación, invierno y primera parte de la primavera (4-6 meses) (Thiers et al. 2007).

### Descripción del ensayo

El ensayo se estableció en 1996 (7,2 ha) y consideró dos métodos de drenaje y un área testigo: a) formación de surcos de drenaje y preparación de camellones, la distancia entre los surcos fue de 2,15 m, paralelos entre sí, la profundidad alcanzada fue de 30 cm; b) dren topo, la distancia entre las galerías de drenaje subterráneo fue de 2 m de forma paralela y la profundidad del túnel de evacuación fue de 30 cm; c) testigo, sin tratamiento de drenaje. Cada tratamiento se subdividió en dos superficies iguales, en cada una se establecieron 1.750 y 2.500 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Las especies utilizadas fueron *Alnus glutinosa*, *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata*, con plantas (1+0). Las labores adicionales al establecimiento incluyeron control total de malezas pre- y postplantación y, la aplicación de fertilizante hidrosoluble.

### Diseño y metodología de evaluación

El ensayo presentó un diseño factorial de 3x2, con tres niveles de manejo físico del suelo (formación de camellones, dren topo y testigo); y dos densidades iniciales de plantación (1.750 y 2.500 árboles ha<sup>-1</sup>). Cada unidad de muestreo (parcela de 20x20 m) fue medida en cuatro oportunidades (1997, 1998, 1999 y 2009). En cada ocasión se midieron 15 parcelas de *Alnus glutinosa*, 14 de *Eucalyptus nitens* y 18 de *Pinus radiata*. Las mediciones incluyeron: sobrevivencia (%), altura total (cm o m), diámetro de cuello (dac) (mm) y diámetro altura del pecho (dap) (cm), según corresponda. Se estimaron dos parámetros de productividad: área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) y diámetro medio cuadrático (DMC), ambos a los 13 años de establecidas las especies.

Se evaluó además la sanidad -estado de ataque de agentes bióticos- según tres categorías: 1) sin daño aparente (bueno), 2) presencia de síntomas de daño (regular), 3) signo de daño (malo). También se evaluó la forma de los individuos de acuerdo con el grado de rectitud del fuste y aptitud comerciable, según tres categorías: 1) fuste recto (sin bifurcación), 2) torcedura leve con desplazamiento de hasta un radio respecto del fuste principal o bifurcado sobre 3 m de altura, 3) fuerte torcedura, desplazamiento mayor a un radio o bifurcado bajo 3 m de altura. La calidad a nivel de individuo resultó de una matriz cruzada entre la sanidad y la forma.

Se incluyó una evaluación de la vitalidad (Roloff, 1993), que caracteriza la estructura general de la copa, con énfasis en el grado de densidad y forma en que ésta se ramifica. La vitalidad hace referencia a la capacidad de crecimiento de la copa, y esto se refleja en el crecimiento anual de los brotes. Una disminución de la vitalidad es evidenciada por la pérdida visible de crecimiento primario de los brotes en la parte superior de la copa.

Los grados de vitalidad se definen en cuatro estados de la copa (Roloff 1993): a) exploración: copa densa con ramificación intensa a modo de una red hasta el interior de la copa; sin síntomas de daños; b) degeneración: copa debilitada, ramas flechadas, superficie de la copa irregular, puede ser densa hacia el interior; c) estancamiento: copa con pérdida de la vitalidad marcada, copa en su periferia tipo arbusto, estructura a modo de pinceles, transparencia de la copa desde el interior hacia el exterior; d) resignación: vitalidad muy baja, copa fragmentada y muy transparente, estructura de ramas en periferia tipo fusta.

El análisis de los datos se realizó mediante análisis de varianza de dos factores -tratamientos de drenaje- y utilizando las dos densidades de establecimiento, para las variables cuantitativas de crecimiento y sobrevivencia de las tres especies. Además se realizó una comparación a *posteriori* mediante la prueba de multicomparación de medias de Scheffé ( $P < 0,05$ ), para identificar grupos de tratamientos con diferencias significativas entre sí, donde se consideró cada parcela como unidad muestral. La comparación estadística de las variables no paramétricas a nivel de rodal (sanidad, forma, calidad y vitalidad) se realizó mediante la prueba Chi-cuadrado ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS

### Sobrevivencia y rendimiento

La densidad de establecimiento no tuvo efectos significativos ( $P>0,05$ ) sobre la sobrevivencia de las tres especies. El manejo físico del suelo favoreció significativamente ( $P<0,05$ ) a *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* en las tasas de sobrevivencia ( $95\pm 4\%$ ) durante los primeros años (1997-1999) y manteniéndose ellas ( $90-87\%$ ) hasta el 2009. La sobrevivencia de *Alnus glutinosa* fue igualmente alta ( $>95\%$ ) durante los primeros tres años, pero se mostró indiferente frente a los tratamientos de drenaje. El tratamiento testigo mostró siempre las menores tasas de sobrevivencia para las tres especies durante todo el periodo de medición, especialmente en 2009, alcanzando niveles  $< 75\%$  de sobrevivencia (figura 1).

En los tratamientos con drenaje, las mayores tasas sobrevivencias ( $P<0,05$ ) se obtuvieron sobre la formación de camellones respecto del drenaje topo, considerando las tres especies y los tres primeros años (1997-1999). El efecto del drenaje sobre la sobrevivencia mostró su máxima diferenciación en el año 2009, donde *E. nitens* y *P. radiata* presentaron niveles por sobre el  $75\%$  de sobrevivencia, mientras que para ambas especies el tratamiento testigo no superó este valor (figura 1). Para *Alnus glutinosa* todos los tratamientos mostraron tasa  $>75\%$ , pero su calidad y crecimiento fueron muy deficientes.

Durante el año 2009, evaluado el rendimiento de las especies a nivel de rodal, la densidad de establecimiento no mostró efectos significativos ( $P>0,05$ ) sobre los niveles de rendimiento de las tres especies para ningún tratamiento. *Alnus glutinosa* mostró los menores valores en área basal del ensayo ( $<5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ). Para esta especie, los tratamientos de drenaje no incidieron positivamente la producción en área basal. El diámetro medio cuadrático (DMC) fue muy homogéneo, variando entre 4,0 y 6,0 cm para los tres tratamientos (cuadro 1).

El drenaje favoreció el crecimiento de *Eucalyptus nitens*, el tratamiento camellón logró valores de  $50-60 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , aunque el dren topo no superó  $17 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  (cuadro 1). El tratamiento testigo evidenció muy mal crecimiento de *E. nitens* en condiciones de drenaje restringido, pues no superó los  $10 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  a los 13 años. Sólo destacable son los valores de DMC alcanzados por los mejores drenajes, entre 19 y 21 cm (cuadro 1).

La respuesta de *Pinus radiata* a los tratamientos de drenaje fue similar a *E. nitens*, aunque claramente con menores niveles y mucho más homogénea entre los dos tratamientos de drenaje. El mejor tratamiento -camellón- apenas superó los  $40 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  y el dren topo sólo alcanzó a  $26-28 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . El testigo mostró los menores desarrollos ( $12-21 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ). El DMC fue homogéneo, variando entre 14 y 18 cm para los mejores tratamientos (cuadro 1).

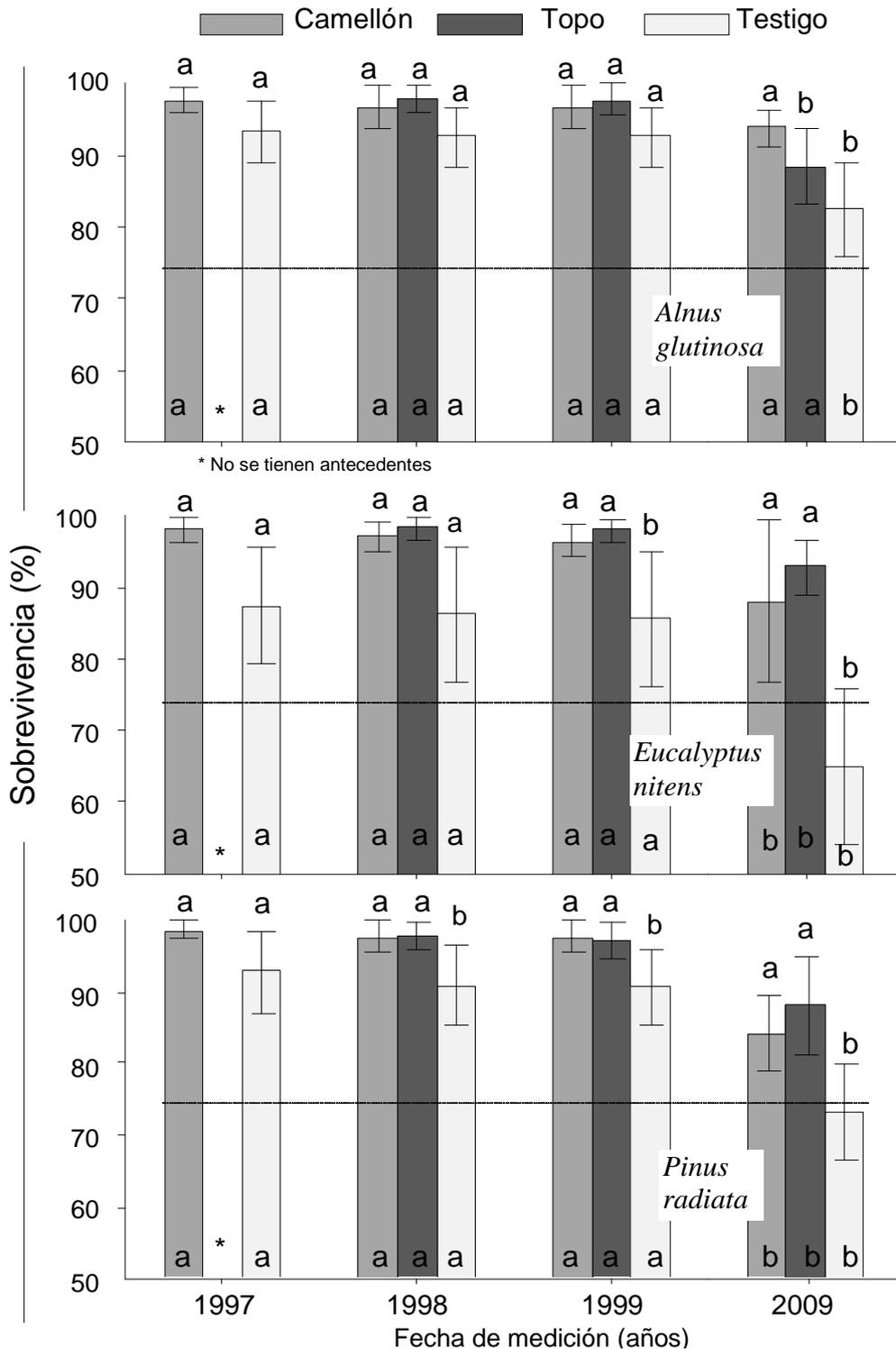


Figura 1. Sobrevivencia representada por la media  $\pm$  desviación estándar de los tres tratamientos de drenaje para ambas densidades (1.750 y 2.500 árboles hectárea<sup>-1</sup>). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamiento y letras diferentes al interior de las barras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre un mismo tratamiento.

Cuadro 1. Valores de densidad actual, área basal por hectárea y diámetro medio cuadrático (DMC) para los ensayos de plantaciones en suelos ñadi a los 13 años de edad (2009).

Especie	Tratamiento de suelo	Densidad de plantación	Densidad árboles ha <sup>-1</sup>	Área basal m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	DMC cm
<i>Alnus glutinosa</i>	Camellón	2x3	1.642	3,1	4,9
		2x2	2.350	4,4	4,9
	Dren topo	2x3	1.500	3,6	5,6
		2x2	2.233	3,9	4,7
	Testigo	2x3	1.550	2,1	4,2
		2x2	2.017	2,8	4,2
<i>Eucalyptus nitens</i>	Camellón	2x3	1.500	52,2	21,0
		2x2	2.238	60,9	18,6
	Dren topo	2x3	1.517	14,9	11,2
		2x2	2.113	16,2	9,9
	Testigo	2x3	1.525	5,9	7,0
		2x2	2.075	9,7	7,7
<i>Pinus radiata</i>	Camellón	2x3	1.508	41,9	18,8
		2x2	2.058	35,7	14,9
	Dren topo	2x3	1.575	26,5	14,6
		2x2	2.100	28,0	13,0
	Testigo	2x3	1.317	12,6	11,0
		2x2	1.833	21,4	12,2

### Calidad y Vitalidad

En su mayoría, la densidad de establecimiento no mostró influencia sobre la distribución de la calidad en los distintos tratamientos. Sólo para *E. nitens* en el tratamiento dren topo se observó una diferencia importante en la distribución de la calidad entre ambas densidades, donde a menor densidad de establecimiento mejoró la calidad del rodal (cuadro 2).

Se observó que el manejo físico del suelo, en especial la construcción de camellón, favoreció una mejor calidad (calidad 1 y 2) de los individuos, más para *E. nitens* que para *P. radiata* (cuadro 2). *Eucalyptus nitens* mostró 80% de los individuos en las calidades 1 y 2, donde el 50% se clasificó en calidad 1, tanto en el tratamiento camellón como dren topo. En cambio, *P. radiata* no superó el 35% de individuos para ambas calidades, y sólo logró un 15% de individuos en calidad 1 para el tratamiento camellón. Para ambas especies, los tratamientos testigo y algunos del tratamiento dren topo concentraron 60-70% de los individuos en la calidad 3. *Alnus glutinosa* mostró un desarrollo notablemente deficiente para todos los tratamientos, cerca del 100% de los individuos presentaron calidad 3 (cuadro 2).

Al igual que para la calidad, la densidad de establecimiento no mostró influencia significativa en la distribución de los niveles de vitalidad observados en las especies analizadas. Independiente del tratamiento, en general, las especies mostraron un crecimiento medio a regular en su estado de vitalidad, en especial *A. glutinosa* y *P. radiata* (cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución de la calidad según especies para los distintos tratamientos y ambas densidades de establecimiento.

Especie	Tratamiento de suelo	Densidad de plantación	Densidad árboles ha <sup>-1</sup>	Calidad		
				1	2	3
<i>Alnus glutinosa</i>	Camellón	2x3	1.642	1	3	96
		2x2	2.350	0	0	100
	Dren topo	2x3	1.500	0	1	99
		2x2	2.233	0	0	100
	Testigo	2x3	1.550	0	1	99
		2x2	2.017	0	0	100
<i>Eucalyptus nitens</i>	Camellón	2x3	1.500	50	30	20
		2x2	2.238	-	-	-
	Dren topo	2x3	1.517	49	36	16
		2x2	2.113	11	24	65
	Testigo	2x3	1.525	14	19	67
		2x2	2.075	9	26	65
<i>Pinus radiata</i>	Camellón	2x3	1.508	14	20	66
		2x2	2.058	16	15	69
	Dren topo	2x3	1.575	0	10	90
		2x2	2.100	2	26	73
	Testigo	2x3	1.317	2	20	78
		2x2	1.833	6	26	68

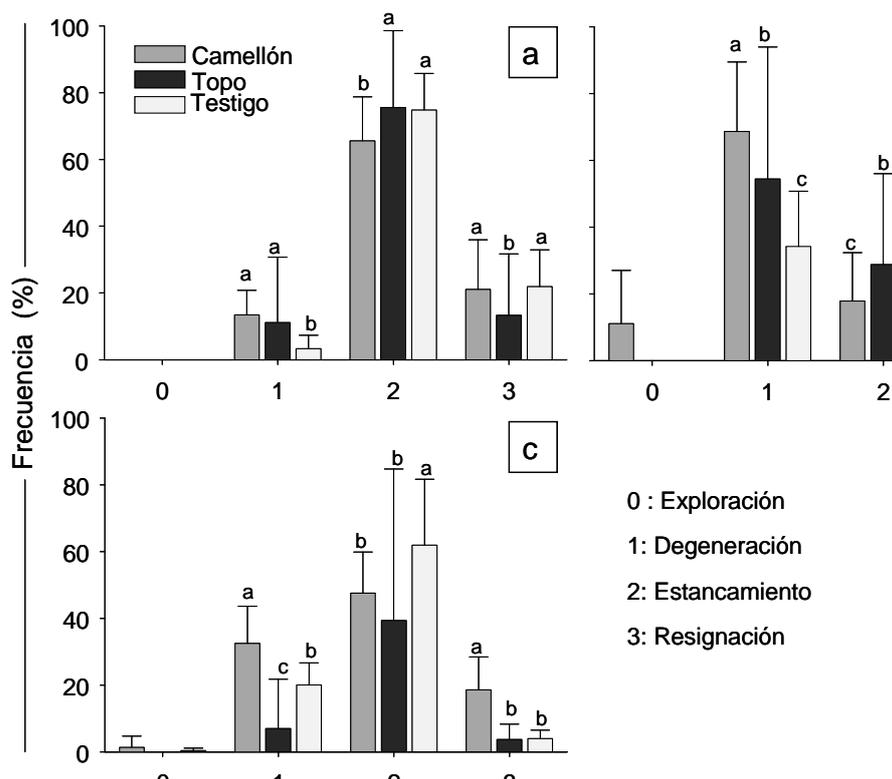


Figura 2: Efecto del tratamiento del drenaje del suelo sobre la vitalidad de copa de las especies, representada por la media  $\pm$  desviación estándar para ambas densidades (1.750 y 2.500 árboles ha<sup>-1</sup>). Leyenda: a) *Alnus glutinosa*; b) *Eucalyptus nitens*; c) *Pinus radiata*. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamiento ( $P < 0,05$ ).

La categoría con mayor frecuencia de individuos fue estancamiento para *A. glutinosa* (50-80%) y *P. radiata* (50-70%). La presencia de individuos de ambas especies en la categoría de exploración fue nula y muy marginal en la categoría de degeneración (<30%). Sólo en la categoría de degeneración se observó un efecto positivo del drenaje sobre la distribución de la vitalidad, en especial para *P. radiata* (figura 2).

Los tratamientos de drenaje en *E. nitens* permitieron un patrón de respuesta más favorable y homogéneo respecto de las otras dos especies. Se observó un efecto positivo del drenaje -camellón- sobre la vitalidad de *E. nitens*, pues la mayor cantidad de individuos se concentró en la categoría de degeneración (65%), con algunos en exploración (10%). El dren topo mostró un modelo de respuesta similar, aunque de menor magnitud (50%). La ausencia de drenaje afectó la vitalidad de los individuos, pues concentró su desarrollo en la categoría de estancamiento (50-60%) (figura 2).

Los resultados constataron correspondencia entre las clasificaciones de calidad y vitalidad con el rendimiento obtenido a los trece años de establecidas las plantaciones. El rendimiento de las plantaciones, en general, fue medio a bajo y con niveles de calidad regulares a malos. De la misma manera, el estado de vitalidad de las plantaciones, en su mayoría, evidenció un desarrollo con restricciones que limitó fuertemente el crecimiento y calidad de las mismas.

## DISCUSIÓN

La tasa y nivel de crecimiento están en directa relación con la ocupación del sitio y su nivel de calidad (Skovsgaard y Vanclay 2008). Sin embargo, las densidades de establecimiento experimentadas (1.666 plántulas ha<sup>-1</sup> y 2.500 plántulas ha<sup>-1</sup>) no mostraron influencia en el crecimiento acumulado de área basal ni en el diámetro medio cuadrático. En todos los tratamientos existió presencia de mortalidad natural, aunque ésta fue menor en los tratamientos con drenaje, especialmente con camellón, y en el establecimiento más espacioso (1.666 plántulas ha<sup>-1</sup>). La presencia de mortalidad en todos los tratamientos, en especial en los más densos, y la baja a muy baja tasa de crecimiento producto de la baja calidad de sitio de los suelos ñadi, pudieron ser factores que aminoraron las diferencias de crecimiento encontradas.

La productividad de plantaciones de *E. nitens* y *P. radiata*, se ve negativamente afectada por las condiciones anegamiento temporal presentes en los suelos ñadi (Gerding y Schlatter 1995, Schlatter et al. 1997). La existencia de manejo físico del suelo, a través de drenaje, demostró un efecto positivo, aunque leve, en la sobrevivencia y rendimiento de las especie. El efecto del drenaje se mantiene en el tiempo, aunque la magnitud de la ganancia disminuye lentamente, en parte por la ausencia de mantención de las obras de drenaje realizadas y también producto de los bajos niveles de fertilidad propios de los suelos ñadi (bajo volumen arraigable, alta acidez y baja disponibilidad de elementos nutritivos). La alternativa de establecimiento de plantaciones sin obras de drenaje, siguiendo la dinámica natural de un suelo ñadi, compromete fuertemente la sobrevivencia y productividad de la plantación, haciendo inviable una producción forestal sostenida y con niveles atractivos de rendimiento.

Hansen (2001) señala que las condiciones naturales de los suelos ñadi para el crecimiento de plantas de especies forestales son muy desfavorables y que sólo sobreviven aquellas que se encuentran a mayor elevación y mejor drenaje, producto de pequeños cambios en el microrelieve. Es así como obras de drenaje, las cuales permiten mayor aireación en el suelo, favorecen no sólo la sobrevivencia sino que también el crecimiento de la vegetación (Ortega 1996). La construcción de camellones aumenta el volumen de suelo disponible y con ello la superficie aireada durante el invierno; el dren topo no modifica mayormente la profundidad arraigable del suelo, pero mediante el túnel de evacuación drena el exceso de agua acumulada en el periodo de mayor anegamiento (Ortega 1996). Sin embargo, durante el periodo de verano, cuando los ñadi naturalmente se secan, la reserva de agua -capacidad de agua aprovechable- del drenaje con camellones es mayor que la del dren topo (Ortega y Salgado 2001). Por lo tanto, el manejo de las obras de drenaje es esencial para mantener condiciones favorables de crecimiento, no sólo la realización sino que la mantención de las obras en tiempo logrará capitalizar las ganancias en sobrevivencia y crecimiento obtenidas inicialmente.

Para el ensayo en general, *E. nitens* mostró el mejor de desarrollo, luego *P. radiata* y finalmente con un crecimiento muy lento *A. glutinosa*. Las condiciones del clima no fueron restrictivas para *E. nitens* ni para *A. glutinosa*. Para *P. radiata* en cambio, la presencia de bajas temperaturas y alta frecuencia de heladas influye negativamente en su crecimiento. A nivel edáfico, la fertilidad natural de los suelos ñadi desfavoreció en crecimiento de las tres especies, ya sea por características física (bajo volumen de suelo, exceso de agua y saturación del suelo) como por características químico-nutritivas (alta acidez, alta concentración de aluminio y baja disponibilidad de elementos nutritivos). La presencia de drenajes mejoró la sobrevivencia y crecimiento, donde *E. nitens* mostró los mejores desarrollos, tanto en cantidad como en calidad (calidad y vitalidad). No obstante, la sobrevivencia y el crecimiento de *E. nitens* está muy por debajo de los niveles de una plantación forestales de rápido crecimiento en sitio altamente productivos (INFOR 2004).

Para *P. radiata*, pese a la existencia de mejoras del drenaje, el volumen de suelo disponible para su crecimiento fue igualmente bajo y perjudicó el buen crecimiento de la especie. A los bajo niveles de crecimiento (área basal y DMC), se agregan los bajos niveles de calidad y vitalidad mostrados por la especie. Dadas las condiciones naturales de los suelos ñadi o las posibles mejoras, producto del drenaje, *P. radiata* no es una opción productiva para este tipo de sitios (Gerding y Schlatter 1995). En el caso de *A. glutinosa*, en sus requerimientos de sitio el drenaje restringido -suelos anegados- no constituye una limitante; la presencia de un suelo ácido y altos contenidos de aluminio podría generar condiciones restrictivas para su crecimiento. *Alnus glutinosa* crece preferentemente sobre suelos de pH neutro a básico (5,5 - 7,0), mientras que los suelos ñadi presentan niveles ácidos a muy ácidos (Mella y Kühne, 1985). La escasa adaptación de *A. glutinosa* se debería a que esta condición de acidez inhibiría la proliferación de *Frankia spp.* (Igual et al. 1997). Este microorganismo mantiene una simbiosis con *A. glutinosa* entregándole nitrógeno, a cambio de carbono y otras fuentes de energía que requiere esta bacteria (Muñoz y Cobos, 1986). Niveles cercanos a pH 4,0 inhiben en las plantas la inoculación y formación de nódulos de raíz en un

50% (Muñoz y Cobos, 1986, Igual et al. 1997). Por lo tanto, dada estas condiciones edáficas, son esperables los bajos niveles de crecimiento acompañados con los muy bajos niveles de vitalidad. La alternativa de forestación utilizando *A. glutinosa* no es una opción viable, ni para objetivos productivos ni para objetivos de recuperación de suelos degradados.

La utilización productiva forestal de suelos ñadi posee límites ecológicos fuertes y poco manejables; la presencia de drenajes tiene un efecto de corto plazo y de magnitud poco significativa. Los objetivos de producción de plantaciones con especies forestales exóticas en suelos ñadi son igualmente limitados. Por lo tanto, la producción forestal intensiva en ñadis es restringida y requiere de un enfoque específico, que considere las características y propiedades de este tipo particular y único de suelo, con el objetivo de asegurar la viabilidad de la producción y la mantención del recurso suelo en el tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile (DID-UACH).

## BIBLIOGRAFÍA

Di Castri F, E Hajek. 1976. Bioclimatología de Chile. Santiago, Universidad Católica de Chile, Vicerrectora Académica. 163 p.

Gerding V, JE Schlatter. 1995. Variables y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile. Bosque (Chile) 16(1):39- 6

Hansen N. 2001. Efecto del nivel freático de un suelo ñadi sobre las condiciones de crecimiento de una plantación de *Eucalyptus nitens* Maiden de dos años. Tesis Magíster Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 90 p.

Igual, J, C Rodríguez, E Cervantes. 1997. The effects of aluminium on nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Casuarina cunninghamiana* Miq. Plant and Soil 190: 41-46

INFOR (Instituto Forestal, CL). 2004. *Eucalyptus nitens* en Chile: Primera monografía. Informe Técnico N° 65. Valdivia, Chile. Instituto Forestal. 143 p.

Mella L, A Kühne. 1985. Sistemática y Descripción de las Familias, Asociaciones y Series de suelos derivados de materiales piroclásticos de la Zona Central Sur de Chile. En: Tosso. J. (ed.). Suelos Volcánicos de Chile. Santiago, (Chile) INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria, CL), Ministerio de Agricultura: 549-712

Muñoz M, J Cobos. 1986. Exudaciones gomosas en alisos (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. asociadas con la presencia de hongos vasculares. Boletín Sanitario Vegetal Plagas (12):167-179

- Ortega L. 1996. Técnicas de drenaje para el Sur de Chile. Osorno, Chile. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria, CL)- Remehue. Cartilla Divulgativa N° 1.18 p
- Ortega L, L Salgado. 2001. Drenaje en suelos agrícolas. Temuco, Chile. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria, CL), Carillanca. 74 p.
- Roloff A. 1993. Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemässigten Breiten. Band 93. Frankfurt am Main, Deutschland. Sauerländers Verlag. 258 p.
- Schlatter JE, V Gerding, H Huber. 1997. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal aplicado a la X Región. Serie Técnica, Fac. Cienc. Forestales, Univ. Austral de Chile. Valdivia, Chile. 93 p.
- Skovsgaard JP, JK Vanclay. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81(1): 13-31
- Thiers O, V Gerding, A Lara, C Echeverría. 2007. Variación de la napa freática en un suelo ñadi bajo diferentes tipos vegetacionales, X Región, Chile. In: Libro de actas de Eco Reuniones. Primera reunión sobre forestación en la patagonia EcoForestar 2007. Editores: H Gonda, M Davel, G Loguercio, OA Picco. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónica (CIEFAP). Esquel, Chubut, Argentina. 259-266
- Tosso J. 1985. Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura. 1ª edición. Santiago, Chile. 723 p.