

ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA LA UTILIZACIÓN DE *Eucalyptus nitens* COMO MADERA SÓLIDA. AVANCES EN LA SELECCIÓN DE ÁRBOLES

Molina, María Paz⁶; Ipinza, Roberto⁷; Gutiérrez, Braulio⁶; Emhart, Verónica⁸ y Borralho, Nuno⁹

RESUMEN

Eucalyptus nitens (Deane & Maiden) Maiden es una especie de rápido crecimiento originaria del sudeste australiano y de alto interés para el sector forestal chileno, por cuanto constituye una alternativa a *Eucalyptus globulus* Labill., especialmente en las zonas en que esta última especie se ve limitada por el frío.

La especie fue introducida al país por el Instituto Forestal (INFOR) en los años 60 del siglo pasado y hoy existen alrededor de 255.000 ha (INFOR, 2015) de plantaciones establecidas en su gran mayoría para la producción de pulpa. Es la tercera especie más empleada en las plantaciones forestales chilenas, después de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, y es la especie forestal de mayor tasa de crecimiento en Chile, reportándose producciones sobre 400 m³/ha a los 8 años.

Considerando el potencial de la especie INFOR, en conjunto con el Grupo Pro Nitens (Asociación de Pequeños y Medianos Propietarios Forestales) y Forestal Mininco (Empresa de la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones CMPC SA), han elaborado una estrategia de mejoramiento genético para la producción de madera sólida orientada a dar sostenibilidad a la pyme forestal.

Dentro de las limitaciones de la especie para este uso se han detectados altas tensiones de crecimiento que no permiten un aprovechamiento eficiente de su madera. Con este fin se implementó una metodología no destructiva para la selección de árboles con menores tensiones de crecimiento, para lo cual se cuenta ya con un huerto clonal y se ha iniciado el establecimiento de ensayos de progenies. Se utilizó como base de selección los ensayos genéticos establecidos desde 1990 que incluyen orígenes de toda la distribución natural de la especie en Australia.

Se consideró en una primera fase las evaluaciones genético-productivas derivadas de estos ensayos enfatizando volumen, densidad de la madera y el contenido de lignina. Este último factor, como un indicador de la mayor o menor incidencia de tensiones de crecimiento (Baillères *et al.*, 1995). El contenido de lignina de los árboles seleccionados se evaluó con mediciones obtenidas por metodología NIR (espectrometría de infrarrojo cercano), previo desarrollo de una curva de correlación entre el contenido de lignina en la madera y las tensiones de crecimiento.

Palabras clave: *Eucalyptus nitens*, mejoramiento genético, tensiones, crecimiento, lignina, NIR

⁶ Instituto Forestal, INFOR, Sede Bio Bio, Concepción, Chile mmolina@infor.cl

⁷ Instituto Forestal, INFOR, Sede Los Ríos, Valdivia, Chile

⁸ Forestal Mininco, Los Ángeles, Chile

⁹ RAIZ Forest and Paper Research Institute, Aveiro, Portugal

SUMMARY

Eucalyptus nitens (Deane & Maiden) Maiden is a fast growing species, native to the Australian SE, of a high interest to the Chilean Forestry sector being an alternative to *Eucalyptus globulus* Labill., especially in zones where *E. globulus* growth is limited by site frost conditions.

The species was introduced to the country during the 60 of the past century by the Chilean Forestry Institute (INFOR) and nowadays there are about 250.000 ha of planted forests established mainly for pulpwood production. *Eucalyptus nitens* is the third species in Chilean planted forests after *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* and is the forest species with the higher growth rate in the country. Yields over than 400 m³/ha in 8 years old plantations have been reported.

Due to the species potential, INFOR, together with the Pro Nitens Group (small and medium forest owners association) and Forestal Mininco (one of the main private forest company in the country), has elaborated a genetic improvement strategy focused on solid wood production in order to give sustainability to the forest SME.

Among some limitations of the species to use it for solid wood production have been detected strong growing stresses which do no allow an efficient wood utilization. Due to this limitation, a non destructive methodology to select trees with lower stresses was implemented and already is established a clonal orchard, and progeny trials installation has started. As selection basis, genetic trials stablished since 1990, including provenances from the whole species natural distribution in Australia, were used.

In a first stage, genetic and productive evaluations of these trials with emphasis on volume, wood density and lignin contents are considered. The last factor as an higher or lower growing stresses indicator. The selected trees lignin contents was evaluated trough the NIR (Near Infrared) methodology after the development of a correlation curve wood lignin contents-growth stresses.

Key words: *Eucalyptus nitens*, genetic improvement, growth stresses, lignin contents, NIR.

INTRODUCCIÓN

Eucalyptus nitens es una especie que se adapta a las condiciones de Chile y que exhibe una de las más altas productividades observadas en *Eucalyptus* en el mundo. La especie tiene además excelente forma y sanidad. La mayoría de sus plantaciones se destinan a la producción de madera para celulosa, sin embargo, hoy en día existe la posibilidad de aprovechar una parte de este recurso forestal para producción de madera sólida para la industria del aserrío y chapas. Eso es particularmente relevante en el caso de regiones en que las elevadas distancias a las plantas de celulosa desvalorizan significativamente el precio de la madera en pie para pequeños y medianos propietarios. A su vez el uso de esta especie se constituiría en una alternativa importante al uso de madera de bosque nativo como madera país para el abastecimiento de la pequeña y mediana industria forestal.

La utilización para aserrado o laminado de madera de *Eucalyptus* en general y de *E. nitens* en particular, aunque bien desarrollada en el mundo, se ve afectada por la ocurrencia de tensiones de crecimiento e inestabilidad dimensional que afectan el rendimiento industrial y la rentabilidad del proceso, degradando la calidad del producto final (Biechele *et al.*, 2009).

Existen diversos enfoques para hacer frente a estos inconvenientes, siendo el mejoramiento genético, mediante la adecuada selección de árboles con baja incidencia de tensiones de crecimiento, la opción adoptada en esta estrategia para mejorar eficientemente la calidad de la madera. En efecto, existe suficiente variación en las poblaciones de mejoramiento en Chile para lograr cambios significativos en la incidencia de rajaduras y las propiedades mecánicas de la madera de *E. nitens*, y estas características poseen una relativamente alta heredabilidad y control genético, situación que las hace adecuadas para mejorarlas por esta vía, permitiendo el desarrollo de una línea específica de mejoramiento para las características de calidad de aserrado, y posibilitando la disponibilidad de semilla mejorada para propietarios forestales que deseen establecer rodales para producción de madera sólida, con baja incidencia de rajaduras y defectos asociados a las tensiones de crecimiento.

Dentro de los factores que determinan el grado de tensiones de crecimiento se encuentran las características intrínsecas del crecimiento natural de los árboles, que pueden ocurrir tanto en latifoliadas como en coníferas (Jacobs, 1945; cit por Lima, 2005), tales como crecimiento de las células cambiales, la maduración de las fibras (Touza, 2001) y el contenido de celulosa, hemicelulosa o lignina, aunque este puede ser una consecuencia de las tensiones de crecimiento (Ona *et al.*, 1995).

En el caso específico de la lignina, cabe recordar que se concentra principalmente en la lámina media, teniendo funciones vitales en las plantas tales como de transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos como aquellas que otorgan resistencia a la madera contra los impactos, compresiones y flexiones (Chabannes *et al.*, 2001; Jones *et al.*, 2001 cit por Rencoret, 2008). Este rol en funciones vitales hace presumir la alta heredabilidad que puede tener su contenido en la madera.

Las tensiones de crecimiento están relacionadas con factores genéticos, de edad, tamaño de la troza, tasa de crecimiento e inclinación del fuste (Riquelme, 2011).

Biechele *et al.* (2009) utilizan un extensómetro CIRAD para evaluar tensiones de crecimiento en *E. nitens*, concluyendo que estas son altamente variables y que no se correlacionan con un solo parámetro de crecimiento, sino con una combinación de factores que influyen de manera diversa a diferentes edades y alturas del árbol.

Caniza *et al.* (2007), estudiando tensiones de crecimiento en *E. grandis* y las interacciones clon x raleo y clon x posiciones, encontraron diferencias significativas lo que sugiere que el manejo de rodales así como también la simetría del espaciamiento inicial entre los árboles contribuiría a disminuir las tensiones de crecimiento, mejorando la calidad de la madera para uso sólido.

Barnacle y Gottstein (1968), cit por Touza (2001), señalan que también se deben considerar aspectos como la caída de los árboles en el volteo de modo de evitar impactos fuertes

los que aumentarían la aparición y profundidad de grietas.

Atendiendo a la existencia de una correlación inversa entre el contenido de lignina y la magnitud de las tensiones de crecimiento, así como a la alta heredabilidad del contenido de lignina, en este estudio se busca seleccionar árboles para una población de mejoramiento y producción de semilla mejorada, usando el contenido de lignina como predictor de las tensiones de crecimiento que manifiestan los árboles.

OBJETIVOS

Objetivo General

Conformar una población de mejoramiento de *Eucalyptus nitens* compuesta por individuos selectos en función de sus bajas tensiones de crecimiento y, consecuentemente, de su aptitud para ser usados en la producción de madera aserrada.

Objetivos Específicos

Generar una curva de correlación entre características químicas constitutivas de la madera, tales como el contenido de lignina, con expresiones de tensiones de crecimiento medidas a través del uso de extensómetro, que mide microdeformaciones longitudinales de la madera y el índice de rajaduras terminales utilizando la evaluación CSIR (Verryn and Turner, 2000).

Seleccionar una población base de árboles *plus* de *Eucalyptus nitens* con menores tensiones de crecimiento a través de una evaluación no destructiva basada en la predicción del contenido de lignina.

METODOLOGÍA

Calibración Curva de Correlación entre Tensiones de Crecimiento y Contenido de Lignina

De rodales comerciales de *Eucalyptus nitens*, principalmente, y de algunas de especies tales como *E. globulus*, *E. viminalis* y *E. camaldulensis* establecidas en el patrimonio de la empresa Forestal Mininco en la Región del Bio Bio, se obtuvo una muestra de 200 individuos de distintas edades, pero con edad superior a 6 años, y en distintos sitios de crecimiento. Estos árboles fueron elegidos al azar, pero debían tener características de crecimiento promedio del rodal. Se utilizaron 22 rodales y en cada rodal se seleccionaron entre 4 y 14 árboles. Esta muestra fue utilizada en la calibración de una curva de correlación entre contenido porcentual de lignina real (Klason) y "lignina estimada" que se obtuvo a través de la tecnología NIR (espectrometría de infra-rojo cercano) aplicada a la muestra de lignina real.

La muestra de 200 árboles se utilizó para la medición de variables dasométricas, medición de tensiones (con extensómetro CIRAD) y extracción de viruta para cuantificar contenido de lignina en laboratorio. Con posterioridad los árboles fueron volteados y se aplicó la evaluación de rajaduras propuestas por el método CSIR.

Las variables evaluadas previas al volteo fueron DAP, Altura Total y Microdeformaciones (extensómetro a nivel de DAP en cara Norte y cara Sur, Figura N° 1), y post volteo se evaluó el Índice de rajadura (CSIR) a 0 horas y 24 horas después de la tala. El método CSIR se aplicó en distintas trozas y caras (Figura N° 2). El contenido de lignina Klason fue evaluado en el laboratorio de maderas de la Universidad Austral de Chile con muestras de viruta obtenidas a la altura de DAP y este mismo material fue utilizado para determinar el contenido de lignina mediante espectrometría.

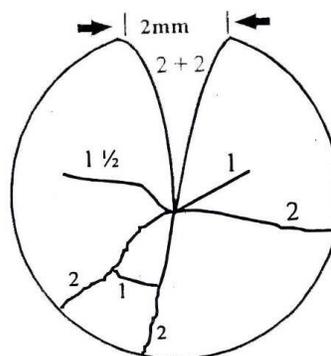
La viruta obtenida a la altura del DAP se obtuvo con barreno manual, inmediatamente después de la medición con Extensómetro CIRAD. Se utilizó una broca de 10 - 14 mm perforando

hasta obtener una muestra de 15-20 gramos de viruta y/o aserrín húmedos, la cual se guardó en bolsa de polietileno transparente con cierre hermético debidamente rotulada con una clara identificación del árbol muestreado. El contenido de lignina real (Lignina Klason) se obtuvo en laboratorio y posteriormente se utilizó para construir una curva predictora del contenido de lignina en base a lecturas con espectroscopio NIR.



Figura N° 1
MEDICIÓN DE TENSIONES DE CRECIMIENTO EN *E. nitens* UTILIZANDO EXTENSÓMETRO CIRAD

El primer paso fue confirmar la relación propuesta por Bailleres *et al.* (1995) entre el contenido de lignina y las tensiones de crecimiento determinadas por la evaluación con extensómetro y por método CSIR.



- Puntaje:
- 1 punto por grietas radiales de medio radio de longitud
 - 1½ puntos por grietas radiales de ¾ radios de longitud
 - 2 puntos por grietas radiales de 1 radio de longitud
 - 1 punto por milímetro si la grieta se extiende en la periferia
 - 1 punto por medio radio de longitud para grietas tangenciales

Figura N° 2
MEDICIÓN DE TENSIONES DE CRECIMIENTO DE *E. nitens* UTILIZANDO SISTEMA CSIR Y EJEMPLO MÉTODO CSIR PARA LA PUNTUACIÓN DE GRIETAS

La relación en cuestión tuvo una baja correlación al utilizar los valores individuales de tensión y lignina de cada árbol, no obstante al utilizar los valores medios por clase las correlaciones aumentaron considerablemente y confirmaron la relación inversa reportados por Baillères *et al.* (1995) entre tensiones y contenido de lignina

Selección de Árboles Plus de *E. nitens* con Menores Tensiones de Crecimiento

La selección de árboles plus con menores tensiones de crecimiento se hizo en forma indirecta, escogiendo a los individuos con menor contenido de lignina.

Se propuso estimar el contenido de lignina mediante espectrometría NIR en muestras de viruta o aserrín obtenidas a 1,3 m de altura en 350 árboles candidatos.

Para conseguir los 350 candidatos se consideraron 383 familias no emparentadas, de 14 ensayos genéticos que totalizan del orden de 15.000 árboles.

Cada familia posee entre 3 y más de 150 medio-hermanos, con una media de 30, y una edad promedio de 15 años.

Los candidatos se seleccionaron en función de la densidad de su madera (medición con Pilodyn) y volumen fustal, ambas con la misma ponderación, realizando una selección en dos fases; primero las 200 mejores familias y después la selección de los mejores individuos dentro de esas familias.

Para efectos de garantizar que la sub-población de árboles seleccionada para análisis de lignina fuera suficientemente variable, se hizo una elección preliminar de las mejores 200 familias (dentro de las 383), usando el criterio de selección establecido el que se denominó como:

$$\text{INDEX11} = (\text{BDHarvest} + \text{Vol_Harvest})/2.$$

En la Figura N° 3 se ilustra la posición de estas 200 familias, respecto de las 383 iniciales.

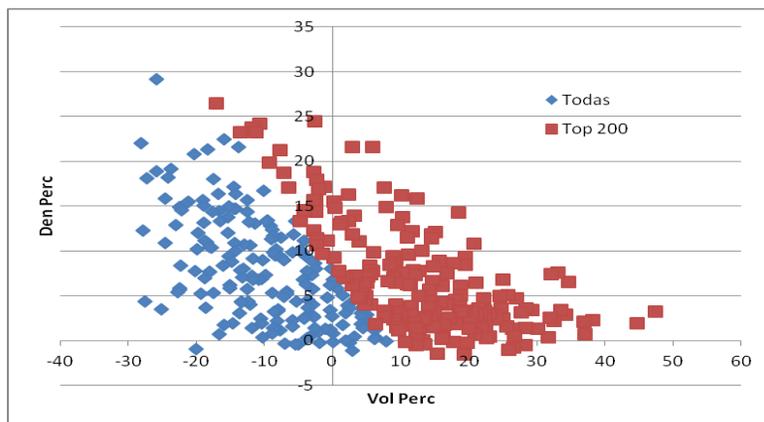


Figura N° 3
POSICIÓN DE LAS 200 MEJORES FAMILIAS EN RELACIÓN AL TOTAL (383) CONSIDERANDO ÍNDICE DE SELECCIÓN (INDEX11) CON IGUAL RELEVANCIA PARA DENSIDAD DE LA MADERA Y VOLUMEN

Además, la subpoblación debía tener una buena representatividad dentro y entre las localidades donde se ubicaban los ensayos, de modo a permitir un adecuado análisis estadístico que separara apropiadamente los factores ambientales de los factores genéticos, y que al mismo

tiempo proveyera un número suficiente de individuos por familia para que la selección intra-familiar fuera adecuada. En efecto, con cinco árboles por familia se logra un buen equilibrio entre tener una base ancha y una buena representación de familias para estimar parámetros y correlaciones.

En definitiva se obtuvo un total de 1.028 árboles. Este número es mayor que el propuesto originalmente (350), pero otorgaba un margen de holgura para eliminar a algunos individuos que en terreno se detectaran como árboles muertos, faltantes o enfermos. Posteriormente, se eligieron los mejores individuos dentro de estas familias. La elección siguió el mismo criterio que usado anteriormente: $INDEX11 = (BDHarvest + Vol_Harvest)/2$. En la Figura N° 4 se entrega una visión gráfica del mérito de Volumen y Densidad de los árboles candidatos.

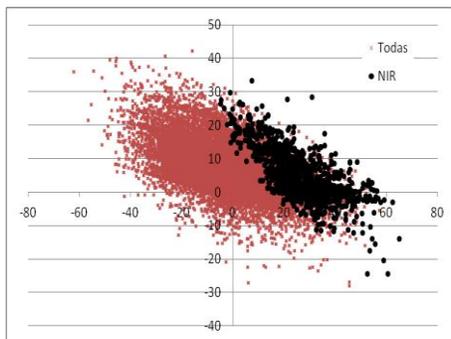


Figura N° 4
POSICIÓN QUE OCUPAN LOS MEJORES 350 ÁRBOLES EN RELACIÓN AL TOTAL DE 1.028

En promedio, el valor de mérito genético del conjunto de los árboles para evaluación NIR es de 21% para Volumen y 6% para Densidad. Sin embargo, en este conjunto existen algunos árboles de escaso volumen (mínimo de -19%) y densidad (mínimo de -25%). Finalmente, para seleccionar los árboles *plus* con menores tensiones de crecimiento solo fue preciso tomar una muestra de viruta y evaluar el contenido de lignina a través del Sistema NIR.

La determinación de los árboles *plus* consideró en primera instancia árboles candidatos que presentaron volúmenes superiores y densidades de la madera aceptables de acuerdo a lo esperado por la empresa. A cada uno de los árboles candidatos se les tomó una muestra de viruta a la altura del DAP (Figura N° 5).



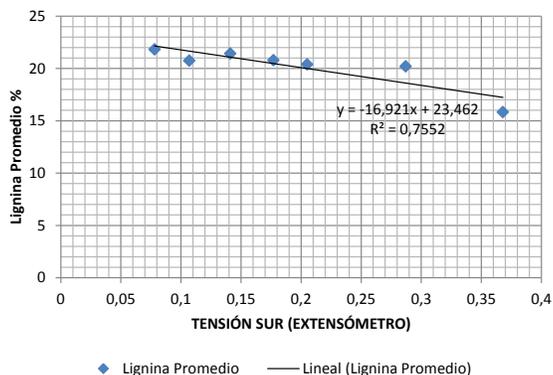
Figura N° 5
COLECTA DE VIRUTA DE ÁRBOLES CANDIDATOS PARA ANÁLISIS DE CONTENIDO DE LIGNINA A TRAVÉS DE SISTEMA NIR

RESULTADOS

Calibración Curva de correlación entre Tensiones de Crecimiento y Contenido de Lignina

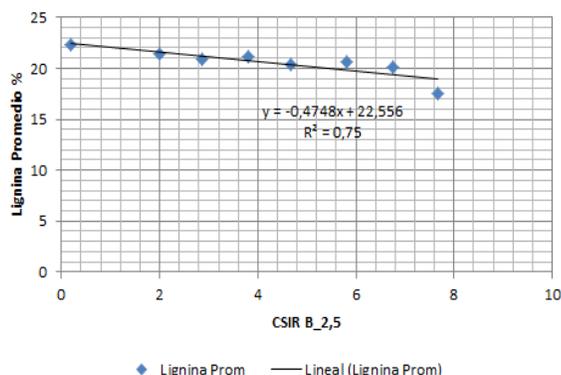
En las Figuras N° 6 y N° 7 se indica la correlación entre contenido de lignina y tensiones de crecimiento, evaluadas estas últimas con extensómetro y mediante índice de rajaduras CSIR.

En ambos casos la correlación se calculó ordenando los resultados de las muestras en clases. La correlación es alta utilizando ambos métodos de evaluación de tensiones y confirma la relación inversa propuesta por Baillères *et al.* (1995).



Tensión SUR		Lignina real Promedio
Clases	Promedio de la clase	
0,057 - 0,09	0,078	21,8
0,091 - 0,124	0,107	20,7
0,125 - 0,158	0,141	21,4
0,159 - 0,192	0,177	20,8
0,193 - 0,226	0,205	20,4
0,261 - 0,294	0,287	20,2
0,329 - 0,385	0,368	15,8

Figura N° 6
CORRELACIÓN EXISTENTE ENTRE EVALUACIÓN DE TENSIONES CARA SUR CON EXTENSÓMETRO Y CONTENIDO DE LIGNINA KLASON (%)



CSIR B_2,5		Lignina real Promedio
Clases	Promedio de la clase	
0 - 1	0,200	22,3
1,1 - 2	2,000	21,4
2,1 - 3	2,864	20,9
3,1 - 4	3,800	21,1
4,1 - 5	4,667	20,4
5,1 - 6	5,800	20,6
6,1 - 7	6,750	20,1
7,1 - 8	7,667	17,6

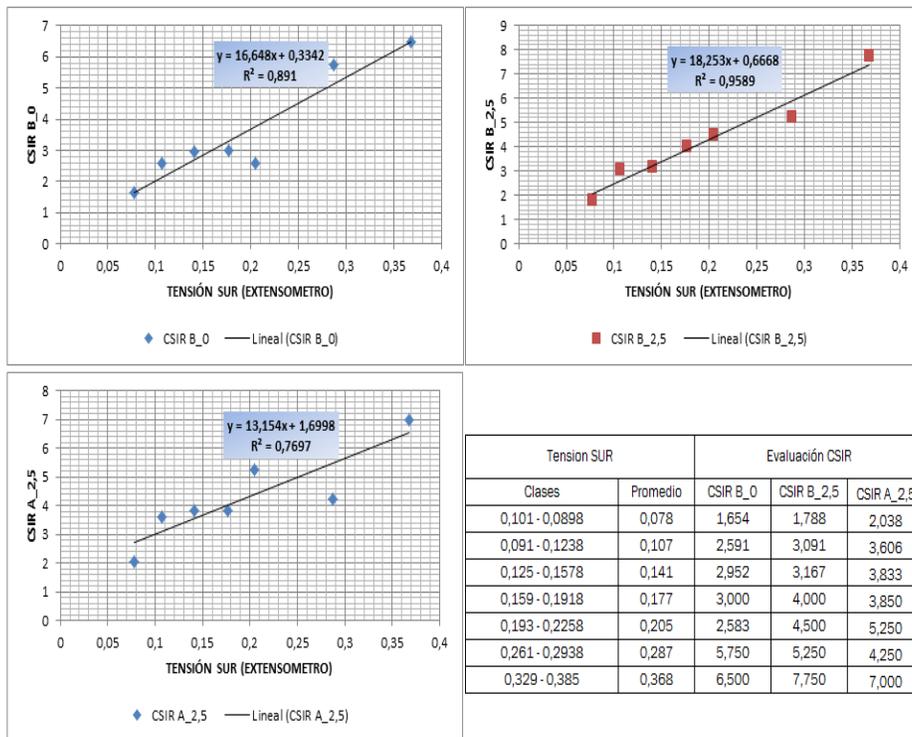
Figura N° 7
CORRELACIÓN EXISTENTE ENTRE EVALUACIÓN DE TENSIONES CON SISTEMA CSIR Y CONTENIDO DE LIGNINA KLASON (%)

Respecto de los métodos de obtención de los valores de tensiones, el extensómetro corresponde a un método no destructivo, pero no muy confiable dado que depende de variables adicionales como son la estabilidad climática (lluvia, viento, otras) y de una extrema rigurosidad en su aplicación por el operador.

La evaluación a través del Sistema CSIR en tanto es un método destructivo, pero de alta credibilidad para determinar calidad de trozos que serán utilizados en la obtención de madera aserrada o chapas provenientes de debobinado.

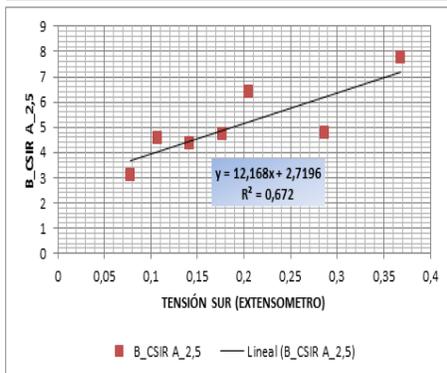
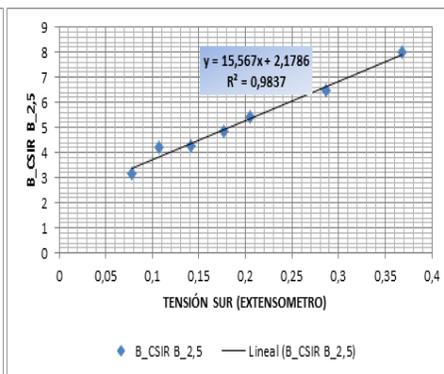
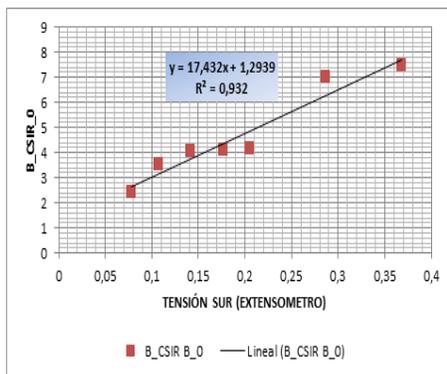
En este contexto, se correlacionaron ambos métodos, obteniéndose valores de R^2 de entre 0,67 y 0,98, y observándose baja variación respecto de evaluar el índice CSIR inmediatamente después del volteo o 24 horas después del mismo.

En las Figuras N° 8 y N° 9 se entregan los resultados y en ellos se visualiza que ambos métodos son confiables y entregan una información muy similar para tensiones de crecimiento.



Cara Base Troza de Tocón = CSIR B_0
 Cara Basal de Troza a 2,5 m = CSIR B_2,5
 Cara Apical de Troza a 2,5 m = CSIR A_2,5

Figura N° 8
CORRELACIÓN EXISTENTE ENTRE LAS MEDICIONES DE TENSIONES DE CRECIMIENTO CON EXTENSÓMETRO Y SISTEMA CSIR EN CARAS DE TROZAS A DISTINTAS ALTURAS MEDICIÓN EFECTUADA INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA COSECHA



Tension SUR	Evaluación CSIR			
Clases	Promedio	B_CSIR B_0	B_CSIR B_2,5	B_CSIR A_2,5
0,101 - 0,0898	0,078	2,442	3,173	3,096
0,091 - 0,1238	0,107	3,561	4,242	4,576
0,125 - 0,1578	0,141	4,048	4,286	4,333
0,159 - 0,1918	0,177	4,100	4,850	4,700
0,193 - 0,2258	0,205	4,167	5,417	6,417
0,261 - 0,2938	0,287	7,000	6,500	4,750
0,329 - 0,385	0,368	7,500	8,000	7,750

Cara Base Troza de Tocón = B_CSIR B_0
 Cara Basal de Troza a 2,5 m = B_CSIR B_2,5
 Cara Apical de Troza a 2,5 m = B_CSIR A_2,5

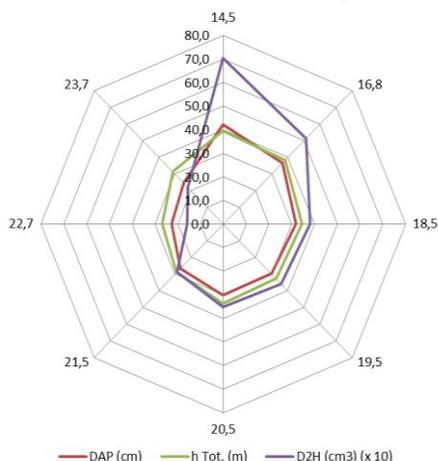
Figura N° 9
CORRELACIÓN EXISTENTE ENTRE LAS MEDICIONES DE TENSIONES DE CRECIMIENTO CON EXTENSÓMETRO Y SISTEMA CSIR EN CARAS DE TROZAS A DISTINTAS ALTURAS MEDICIÓN EFECTUADA 24 HORAS DESPUÉS DE LA COSECHA

Otro aspecto interesante fue conocer cómo se comportaban las variables de crecimiento de los árboles con las tensiones de crecimiento y con el contenido de lignina (Figura 10).

El mayor valor de crecimiento en Altura Total y Volumen se produce en los árboles con menor contenido de lignina con correlaciones R^2 de -0,95 para DAP y -0,80 y -0,93 para Altura total y Volumen (D^2H).

Además las menores Tensiones de Crecimiento se producen con el menor crecimiento para las tres variables y también con altas correlaciones, pero en este caso positivas de 0,84 para DAP, 0,75 para Altura y 0,82 para volumen (D^2H).

Crecimiento en relación a contenido de Lignina Menor



Crecimiento en relación a tensiones de crecimiento inmediatamente después del volteo en la base de la troza sobre el DAP del árbol

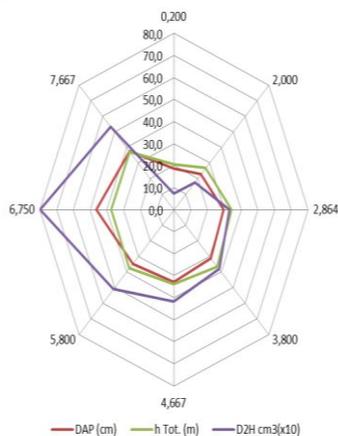


Figura N° 10

COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES (DAP, ALTURA TOTAL (h TOT.) Y UN ESTIMADOR DE VOLUMEN FUSTAL (D²H) EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE LIGNINA REAL Y TENSIONES DE CRECIMIENTO EVALUADAS CON SISTEMA CSIR

Selección de Árboles *Plus* con Menores Tensiones de Crecimiento Aparentes

Los 325 árboles definitivamente seleccionados en función de su contenido de lignina estimado con NIR se distribuyen de acuerdo a lo indicado en el Cuadro N° 1 y Figura N° 11.

**Cuadro N° 1
DISTRIBUCIÓN DE ÁRBOLES CANDIDATOS
SEGÚN RANGO DE CONTENIDO DE LIGNINA Y GRUPO ASIGNADO**

Rango Contenido Lignina (%)	Árboles por Rango (N°)	Total Árboles Candidatos (%)	Grupo Asignado según Rango
16,92 - 17,92	6	1,8	1
17,92 - 18,92	14	4,3	2
18,92 - 19,92	105	32,3	3
19,92 - 20,92	118	36,3	4
20,92 - 21,92	63	19,4	5
21,92 - 22,92	19	5,8	6

Gráficamente esta distribución se aprecia como una distribución totalmente normal al ordenar la frecuencia de árboles por grupo (Figura N° 11), lo que genera una variabilidad suficiente para que esta subpoblación se constituya en una población base de la especie para fines de producción de madera sólida.

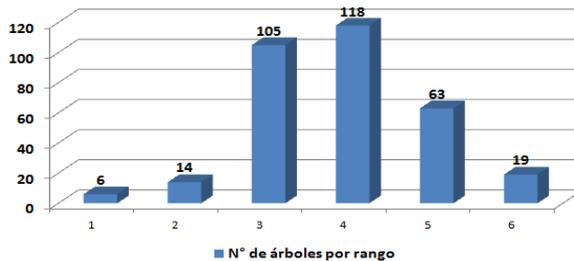


Figura N° 11
DISTRIBUCIÓN DE ÁRBOLES POR GRUPO DE CONTENIDO DE LIGNINA

La selección de árboles plus definitivos para la conformación de un Huerto Semillero Clonal se efectuó buscando mayores contenidos de lignina NIR, seleccionándose los 30 primeros, de los cuales 16 correspondieron al grupo N°6 y 11 al grupo N°5, con contenidos de lignina estimados entre 21,6 y 22,6 %. Este huerto se encuentra ya establecido para la producción de semilla mejorada como base para futuras plantaciones destinadas a la producción de madera sólida con *E. nitens*, principalmente para pequeños y medianos propietarios forestales.

Las progenies de la población obtenida de 325 árboles candidatos, donde están incluidos los árboles plus anteriormente mencionados, se constituirán en la población base para el avance del programa de mejoramiento genético de *E. nitens* para producción de madera sólida con trozas de menores tensiones de crecimiento. Se obtuvo ya semilla de 212 progenies y está en proceso de producción de plantas para establecer 2 ensayos de progenies. En general *E. nitens* es una especie de baja producción de semillas y con algún grado de vecería.

DISCUSIÓN

Los árboles de menor crecimiento son mayoritariamente aquellos que tienen mayor contenido de lignina y presumiblemente menores tensiones de crecimiento. Así al seleccionar por bajas tensiones se sacrifica crecimiento, que es una variable crítica en cualquier programa productivo y de mejoramiento.

Por lo indicado, en este estudio la selección por bajas tensiones se efectuó sobre una subpoblación de alto volumen y densidad de la madera. Si bien el volumen es una característica de baja heredabilidad, la precisión de la ganancia genética que es posible obtener con una selección basada en datos BLUP en ensayos genéticos aumenta significativamente (Borralho, 2014; Volker and Raymond, 1989; Araújo *et al.*, 1996).

El método más apropiado para evaluar las tensiones de crecimiento en la población de selección es la medición de las rajaduras ocurridas en los extremos de las trozas después de volteado el árbol. Estas se correlacionan fuertemente con las rajaduras ocurridas en tablas y manifiestan moderados a altos valores de heredabilidad.

Sin embargo, un programa operativo de selección requiere de una herramienta práctica que permita efectuar muchas evaluaciones con rapidez, a bajo costo y sin destruir los árboles. En este sentido, la estimación del contenido de lignina mediante espectroscopia NIR parece adecuada para este fin y ha sido reportado por diversos otros autores (Fujimoto *et al.*, 2007; Workman and Weyer, 2007; Wust and Rudzik 1996; Shenk *et al.*, 2001).

Complementariamente, la predicción del contenido de lignina a través de NIR en especies del género *Eucalyptus* ha sido utilizado con niveles relativamente altos de coeficiente de predicción R^2 , por ejemplo 0,87 para el híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* (Baillères *et al.*, 2002) y 0.88 para *E. camaldulensis* (Terdwongworakul *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

La correlación entre los dos métodos de evaluación de tensiones en distintas trozas del árbol es muy alta, entre 0,77 (cara superior de troza de 2,5 m, sobre el DAP) y 0,96 (cara basal de troza de 2,5 m, sobre el DAP) para evaluaciones CSIR inmediatamente después del volteo y entre 0,67 (cara superior de troza de 2,5 m, sobre el DAP) y 0,98 (cara basal de troza de 2,5 m, sobre el DAP) para evaluaciones CSIR 24 horas después del volteo.

Considerando los resultados anteriores ambos métodos son confiables y entregan una información muy similar para tensiones de crecimiento.

Se comprueban las correlaciones existentes entre contenido de lignina y métodos de evaluación de tensiones de crecimiento en *E. nitens*. La correlación fue de -0,75 tanto con la evaluación no destructiva con Extensómetro CIRAD como con la destructiva, método CSIR.

El contenido de lignina se correlaciona negativamente con las variables de crecimiento de los árboles, el mayor valor de crecimiento se asocia con bajos contenidos de lignina con un R^2 de -0,95 para DAP y -0,80 y -0,93 en altura total y volumen, respectivamente.

Las menores tensiones de crecimiento se producen con el menor crecimiento para las tres variables y también con altas correlaciones, pero en este caso positivas de 0,84 para DAP, 0,75 para altura y 0,82 para volumen (D^2H).

La validez de esta selección genética deberá ser evaluada con la cosecha y procesamiento industrial de los árboles derivados de este programa de mejoramiento genético.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a Forestal Mininco (empresa CMPC SA) por poner a disposición de este estudio recursos materiales y humanos para la toma de muestras y análisis de información y al grupo PRO Nitens por el apoyo dado para trabajar con esta gran especie forestal.

REFERENCIAS

Araujo, J. A.; Sousa, R.; Lemos, L. and Borralho, N. M. G., 1996. Estimates of genetic parameters and prediction of breeding values for growth in *Eucalyptus globulus* combining clonal and full-sib progeny information. *Silvae Genetica* 45, 223-226.

Bailleres, H.; Chanson, B.; Fournier, M.; Tollier, Mt. et Monties, B., 1995. Structure, composition chimique et retraits de maturation du bois chez les clones d' *Eucalyptus*. *Ann Sci For* N° 52, 157-172.

Baillères H.; Davrieux, F. and Ham-Pichavant, F., 2002. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a *Eucalyptus* breeding program. *Annals of Forest Science* 59: 479-490

Biechele, T.; Nutto, L. and Becker, G., 2009. Growth Strain in *Eucalyptus nitens* at Different Stage of Development. *Silva Fennica* 43(4). 669-679.

Borralho, N., 2014. Desarrollo y perspectivas del mejoramiento genético de eucaliptos para producción de pulpa. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Borralho, N. (Eds.): Mejoramiento Genético de Eucaliptos en Chile. 327-352. INFOR-FIA, Santiago, Chile.

Caniza, J.; Lopez, J.; Montenegro, P.; Assame, S. y Aparicio, J., 2007. Variación de las Tensiones de Crecimiento en tres Clones de *Eucalyptus Grandis* según el estado de competencia individual. XXII Jornadas Forestales de Entre Rios, Concordia, Argentina. 2007. Páginas 1–9.

Fujimoto, T.; Yamamoto, H. and Tsuchikawa, S., 2007. Estimation of Wood Stiffness and Strength Properties of Hybrid Larch by Near-Infrared Spectroscopy. *Applied Spectroscopy* 61 (8) 882:888.

INFOR, 2015. El Sector Forestal Chileno. En: http://wef.infor.cl/sector_forestal/sectorforestal.php#/10 (consulta enero, 2016).

Lima, I., 2005. Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden. Tese doctor em Recursos florestais. Piracicaba, Universidade de São Paulo. 136 p.

Ona, T.; Sonoda, T.; Shibata, M. and Fukazawa, K., 1995. Small-scale method to determine the content of wood components from multiple Eucalypt samples. *Tappi Journal* 78 (3): 121-126.

Rencoret, J., 2008. Estudio de lignina y lípidos en madera de eucalipto: Caracterización química en distintas especies y su evolución durante la fabricación y blanqueo químico y enzimático de la pasta de papel. Tesis de Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Sevilla. Páginas 212.

Riquelme, K., 2011. Efecto de las tensiones de crecimiento sobre el aprovechamiento de *pallet* seco en trozas de *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Páginas 51.

Shenk, J.; Workman, J. and Westerhaus, M., 2001. Application of NIR Spectroscopy to Agricultural Products. Handbook of Near-Infrared Analysis. Burns, D., and Ciurczak, E. (Eds.) Dekker, New York., pp 419-474.

Terdwongworakul, A.; Punsuwan, V.; Thanapase, W.; and Tsuchikawa, S., 2005. Rapid assessment of wood chemical properties and pulp yield of *Eucalyptus camaldulensis* in Thailand tree plantations by near infrared spectroscopy for improving wood selection for high quality pulp. *J. Wood Sci.* 51: 167-171.

Touza, M., 2001. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España): influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. *Maderas, Cienc. tecnol.* [online]. 2001, vol.3, n.1-2, pp.68-89.

Verryn, S. and Turner, P., 2000. The prediction and selection of *E. grandis* solid wood: Phase one, Division of Water, Environment and Forestry Technology, CSIR, 2000.

Volker, P. and Raymond, C. A., 1989. Potential for breeding Eucalypts in Tasmania. *Appita* 42, 198-199.

Workman, J. and Weyer, L., 2007. Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy. CRC Press.

Wust, E. and Rudzik, L., 1996. Nir-Spektroskopische Analytik. En: Gunzler, M., Borsdorf, R., Danzer, K., Fresenius, W., Galensa, R., Huber, W., Luderwald, I., Schwedt, G., Tolg, G., Wisser, H (Eds) Infrarotspektroskopie. Highlight aus dem Analytiker-Taschenbuch. A. Springer, Berlin, pp 241-245.