

## Muestreo de plantaciones de *Eucalyptus spp.* para caracterización de madera pulpable

Javier Doldán<sup>1</sup>  
Felipe Tarigo<sup>1</sup>  
Ismael Fariña<sup>1</sup>

### INTRODUCCIÓN

Las plantaciones comerciales de *Eucalyptus spp.* de rápido crecimiento presentan variaciones en indicadores de calidad de madera que generan un desafío al intentar realizar muestreos de materiales representativos. Es sabido que el crecimiento y rendimientos forestales y consecuentemente las propiedades de madera de diferentes genotipos son afectados mediante interacciones de procesos biológicos (por ejemplo el crecimiento radial, en altura, y la formación de la copa) y las condiciones ambientales (como la temperatura, precipitaciones, nutrientes y luz solar). De la misma forma, las propiedades de la madera y fibras afectan el procesamiento de la misma como materia prima para la producción de pulpa y papel [1]. Se pueden encontrar variaciones en densidad aparente básica y longitud de fibras entre especies, sitios, árboles y dentro de un mismo árbol. Para el género *Eucalyptus* el incremento de densidad se observa desde médula a corteza y desde la base hacia la altura. Para la longitud de fibra se reitera la misma tendencia creciente en el radio mientras que no se encuentran diferencias significativas en altura [2, 3].

Las propiedades de madera como la densidad y el largo de fibra son usadas para evaluar la viabilidad de ésta para una aplicación particular. Específicamente la densidad aparente básica, el largo de fibras, el espesor de pared y la calidad de extractivos son utilizados entre otras como indicadores de calidad de madera para la industria de la pulpa y

papel [2]. Las propiedades más importantes para la producción de pulpa de celulosa pueden ser clasificadas en dos tipos. Las primarias (intrínsecas de la madera) como ser la densidad de madera ( $\text{g/cm}^3$ ), longitud de fibras y ancho pared celular (S2), contenido de lignina y tipo de lignina (S/G) y el contenido de metales y elementos que pueden interferir en el proceso. Por otro lado, se pueden encontrar las Secundarias (las cuales dependen del proceso de producción) como el rendimiento pulpable (%); viscosidad de pulpa; contenido de ácidos hexenurónicos, blanqueabilidad, refinabilidad, consumo ( $\text{m}^3$  madera / ADt. pulpa) y propiedades papeleras (tracción, desgarró, etc.).

Los programas de mejoramiento genético de árboles con destino a pulpa de celulosa tienen generalmente como cometido mejorar el crecimiento, el rendimiento pulpable y la resistencia de la pulpa resultante [7].

La distribución irregular de las propiedades hacen que la toma de muestra sea en si misma una instancia muchas veces definitiva para el estudio y caracterización adecuada de una plantación dada. La importancia de la toma de muestra y del procesamiento de los datos radica en que la caracterización de las propiedades lleva a la toma de decisiones, desde la elección de especies para un proyecto forestal o industrial hasta el ingreso de productos a mercados exigentes. La experiencia luego de sucesivos muestreos en distintos proyectos de investigación realizados por el Departamento de Proyectos Forestales de LATU a lo largo de 10 años, provocó que paulatinamente se fuera introduciendo cambios a las prácticas de muestreo previamente utilizadas. En una primera instancia se realizaban muestreos de 10 árboles elegidos por diámetro a la altura del pecho, sanidad y aspecto general de cada árbol.

<sup>1</sup> Departamento de Proyectos Forestales - LATU - Av. Italia 6201, C.P. 11500 Montevideo, Uruguay.

Las dispersiones en estos muestreos marcaban una gran variación en los árboles en valores de densidad aparente básica (Dab). Intentando disminuir la probabilidad de realizar un muestreo sesgado hacia valores no representativos, se decidió incrementar a 18 el número de árboles muestreados, sin obtener los resultados esperados.

Posteriormente, se introdujo la utilización del Pilodyn en la metodología de muestreo como indicador indirecto de la densidad aparente básica para árboles en pie. Ésta herramienta permitió evaluar una gran cantidad de árboles en pie y de esa forma realizar una selección final adecuada. Los resultados corroboran estudios previos, los cuales realizan exitosamente una clasificación o ranking de la densidad de los materiales evaluados [4].

Por otra parte, históricamente los muestreos de eucaliptos para la determinación de propiedades de la madera han sido tomados a la altura de pecho (1,3 m). Sin embargo, poca evidencia ha sido presentada acerca de la representatividad de dicha altura con respecto al árbol en su totalidad. Algunos autores han determinado distintas alturas como la más representativa para la determinación de densidad aparente básica variando la misma con la edad de plantación y sitios de muestreo [2, 4]. Para encontrar un punto de muestreo representativo para las distintas propiedades, se deben tener en cuenta aquellos datos que tiendan a obtener promedios generales de parámetros de calidad de madera de plantación mediante una ponderación volumétrica de los mismos [2]. En el presente trabajo se discute

la representatividad de las muestras de diferentes alturas y la posibilidad de definir una altura óptima de muestreo que se correlacione con la densidad y el rendimiento pulpable ponderada de cada árbol. Asimismo, se subraya la importancia de realizar un procesamiento de datos que tienda a obtener promedios generales de parámetros de calidad de madera de plantación mediante la ponderación volumétrica de los mismos.

#### MATERIALES ESTUDIADOS

Los estudios realizados en LATU se han basado en muestreos de diferentes especies de *Eucalyptus* provenientes de plantaciones comerciales de distintos sitios. Las especies estudiadas son *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* (*E. globulus*), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* (*E. maidenii*), *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* con procedencia de semilla Jeeralang (*E. globulus* "jeeralang").

#### PROCEDIMIENTO DE MUESTREO PROPUESTO

La metodología de muestreo propuesta en este trabajo apunta a obtener especímenes con una mayor representatividad de la parcela, homogenizando las propiedades físicas fundamentales como la densidad aparente básica (estimada por penetración Pilodyn).

Se obtienen los datos generales de plantación, se seleccionan 100 árboles de forma primaria con los siguientes requerimientos de calidad:



Desarrollamos los recursos humanos de la zona, procurando un impacto social positivo

Nuestro compromiso con la excelencia nos desafía como personas y como empresa a buscar siempre la calidad, el cuidado del cliente y el respeto por el entorno, mediante una gestión eficiente de los recursos y el trabajo.



Forestal Oriental  
www.upm Uruguay.com.uy

- buenas condiciones sanitarias generales,
- rectitud de fuste y buena formación de copa, sin árboles deprimidos cercanos,
- diámetro de altura de pecho (DAP) normales, evitando árboles de crecimiento muy reducido o acelerado.

Clasificación y elección de 10 árboles representativos:

a) Estimación de la densidad por penetración Pilodyn: se mide la penetración a la altura de pecho (1,3m) a los 100 árboles pre-seleccionados manteniendo un criterio fijo de ubicación (ejemplo: ESTE). Un ejemplo de distribución de penetraciones en una parcela se puede observar en la Figura 1.

b) Se calcula el promedio ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) de Pilodyn. Se seleccionan 10 árboles dentro de un rango acotado a  $\mu \pm 1.5\sigma$  y se descartan los individuos pertenecientes a las colas por fuera de este rango, como ejemplo es posible seguir una selección según la Tabla 1.

Medición a árboles seleccionados:

Se mide el DAP y la altura comercial total ( $d = 8$  cm) a cada árbol. Se cortan 3 rollizos de 1 m de largo de las siguientes alturas: DAP, 50% y 75% de altura comercial de cada árbol para producción de

Tabla 1. Selección propuesta y nº de árboles a seleccionar.

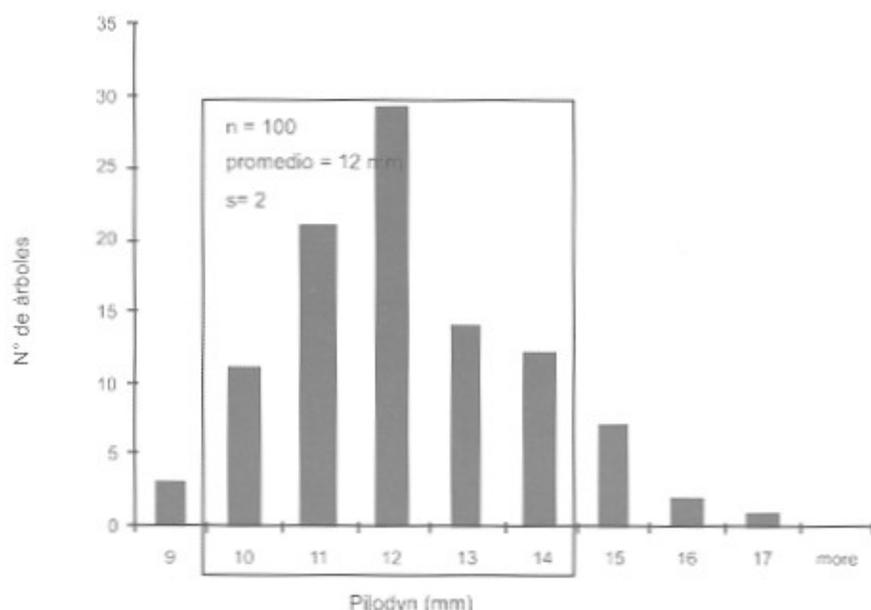
Pilodyn (mm)	Nº de árboles seleccionados
Promedio - $s$	1
Promedio - $0.5*s$	2
Promedio	4
Promedio + $0.5*s$	2
Promedio + $s$	1

chips y posterior estudio de propiedades pulpables. También a cada individuo se le extrae un disco de 2cm de espesor para determinación de la densidad aparente básica de las mismas alturas seleccionadas.

### ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS PROPUESTO

La densidad aparente básica (Dab) fue determinada según técnica LATU basada en Normas TAPPI T254 y ASTM 2395. El rendimiento pulpable se determinó mediante coccciones Kraft sucesivas en laboratorio manteniendo temperatura y factor H, variando carga de álcali hasta obtener una designificación de Kappa 18.

Figura 1. Rangos acumulados de Penetración Pilodyn (ejemplo de parcela muestreada de *Eucalyptus*).



El procesamiento de los datos es un tema de suma importancia cuando se considera una muestra puntual obtenida de un árbol. Se debe tener en cuenta la variación existente desde médula a corteza y en la altura. Según la metodología de muestreo propuesta se obtienen rodajas o discos de tres alturas diferentes (25%, 50% y 75% de la altura comercial). En este trabajo se propone determinar el peso relativo que tendrá cada una de esas muestras en el valor real TOTAL del árbol. En la Figura 2 se observa un ejemplo del peso volumétrico característico para las especies de *Eucalyptus* estudiadas. Cabe suscribir que el peso relativo correspondiente a cada altura varía para cada árbol por lo cual se debe determinar individualmente dentro de cada muestreo.

Con el peso relativo es posible determinar entonces la ponderación total volumétrica por altura. Específicamente en la densidad aparente básica (promedio ponderado de árbol ó  $Dab_{ponderado}$ ) se calculó según la Ec. (1) Donde:  $j$  = altura de muestreo (1 = 25%, 2 = 50% y 3 = 75% de la altura comercial) y  $d_j$  corresponde al diámetro a la altura correspondiente.

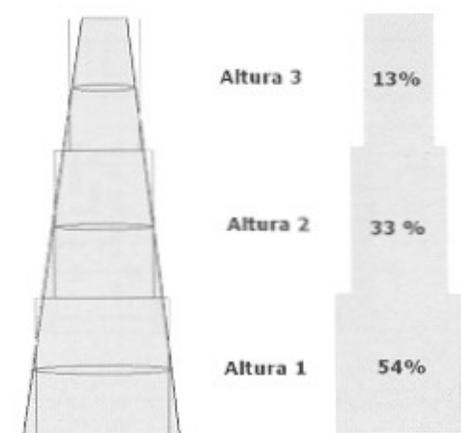
$$Dab_{ponderado} = \frac{\sum_{j=1}^3 (d_j^2 * Dab_j)}{\sum_{j=1}^3 d_j^2}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Pilodyn (como indicador de Dab) vs. crecimiento

En la Figura 3 se observa la variación encontrada para dos muestreos de especies distintas de *Eucalyptus* (*E.dunnii* y *E.grandis*) de 9 a 10 años de edad. En ambos casos, se observó una gran dispersión en los datos obtenidos para penetración Pilodyn mostrando un coeficiente de variación de aproximadamente 13% para los 100 árboles muestreados. La selección de árboles entonces, debe ser realizada mediante una metodología que asegure no solamente estar sobre la media obtenida, sino que represente la gran variación encontrada.

Figura 2. Peso relativo de muestras en valor real total de una propiedad estudiada (ejemplo).



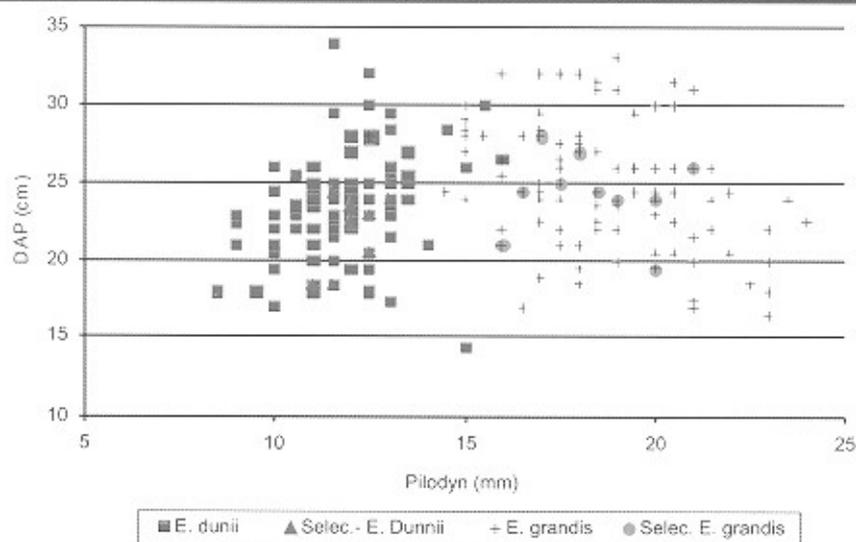
La herramienta propuesta logra obtener árboles de la mayor parte del rango de variación y de esta forma disminuye sustancialmente el riesgo de un sesgo.

Por otro lado, no fue posible encontrar una correlación entre el diámetro a la altura de pecho (DAP) y la penetración Pilodyn. Por ende, tampoco con la densidad aparente básica, lo que corrobora que no sería posible seleccionar individuos representativos de una parcela para ésta propiedad solamente por su crecimiento basal.

### Densidad aparente básica vs. altura

Se ha constatado en los diferentes muestreos una tendencia de la distribución de la Dab, para todas las especies de *Eucalyptus* estudiadas, creciente con la altura. Por lo tanto, sería deseable poder obtener una altura de muestreo tal que represente un promedio real de todo el árbol. En las Figuras 4 y 5 se observa un ejemplo de evaluación de una parcela de *Eucalyptus* donde se compara la Dab en cada altura y se visualiza directamente que la densidad aparente básica al DAP está reproduciendo valores sensiblemente más bajos que la media ponderada de cada árbol. De la misma forma se observa que los valores obtenidos para 50% y 75% arrojan valores por encima de la media ponderada para todo el rango de densidad aparente básica de la parcela.

Figura 3. Diámetro de altura de pecho vs. penetración Pilodyn. Árboles muestreados y seleccionados de distintas especies de *Eucalyptus*.



En la Figura 5 se presentan los valores promedio por altura para una parcela de *E. globulus* donde la determinación de la densidad aparente básica al DAP no representa el valor real de la madera que se va a obtener finalmente. Realizando una estimación lineal de la variación en altura se obtiene en este caso que la altura óptima de muestreo sería al 29,7% de altura

comercial. De la misma forma se ha observado un comportamiento similar para todas las especies estudiadas. Las alturas óptimas de muestreo para las especies de rápido crecimiento se encontraron entre 28% y 34% de la altura comercial. Por lo tanto se ha considerado al 30% de la altura comercial como la altura de muestreo representativo para Dab.

Figura 4. Densidad aparente básica (por alturas) vs. ponderada en una parcela de *E. globulus*

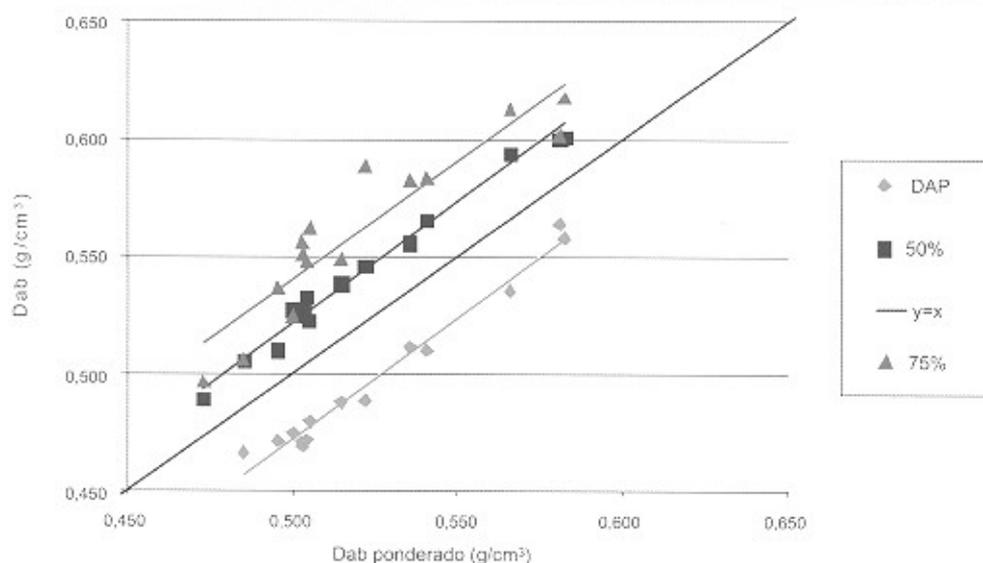
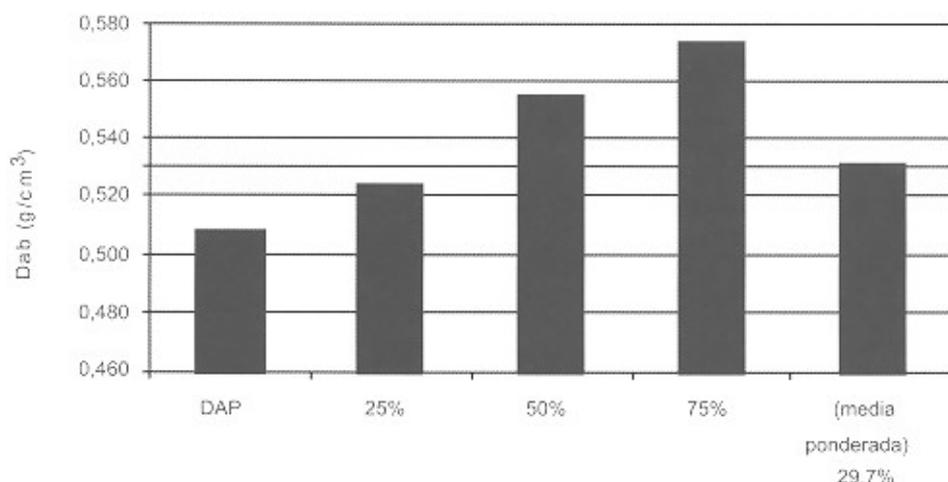


Figura 5. Densidad aparente básica por alturas (promedios).



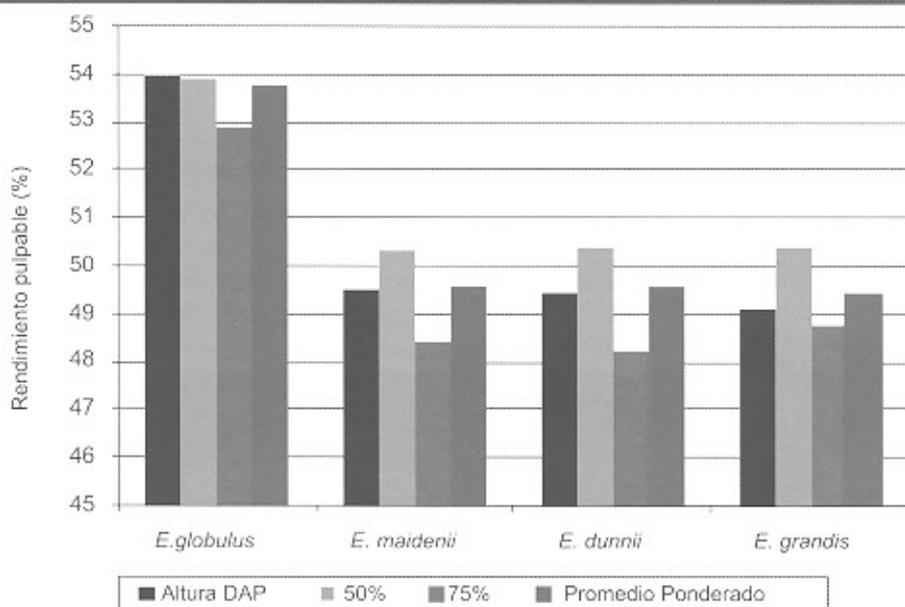
**Rendimiento en pulpa de celulosa vs. altura**

Los estudios llevados a cabo han mostrado una variación peculiar en el rendimiento bruto pulpable con la altura. En todas las especies estudiadas se observa una disminución marcada del rendimiento pulpable para las muestras de mayor altura (75%) lo que podría estar relacionado con un mayor contenido de hemicelulosas las cuales son degradadas

en mayor extensión durante la cocción Kraft.

Las muestras obtenidas para *Eucalyptus globulus* mostraron una diferencia en rendimiento que no puede considerarse significativo entre las alturas de 25% y 50%. Para *E.maidenii*, *E.dunnii* y *E.grandis*, se observa un aumento en altura desde 25% a 50% que correspondería aproximadamente en promedio a una variación del 1% de Rendimiento Bruto.

Figura 6. Rendimiento pulpable a Kappa 18 por alturas y promedio ponderado para distintas especies de *Eucalyptus*



Considerando ahora el valor ponderado de rendimiento pulpable en todas las especies, se podría concluir que la determinación de las propiedades pulpables a una altura de 30% de la altura comercial, podría reproducir el valor ponderado de buena forma. Por este motivo, se corrobora a ésta última como una altura recomendable para la determinación de propiedades pulpables.

## CONCLUSIONES

Mediante los sucesivos muestreos realizados se ha constatado una gran variabilidad en la densidad aparente básica y el rendimiento pulpable entre las especies de *Eucalyptus* estudiadas. La heterogeneidad en Dab y rendimiento pudo ser observada entre especies, árboles y dentro del árbol.

No fue posible encontrar una correlación entre el crecimiento (DAP) y la penetración Pilodyn, por lo que se corrobora que no sería posible seleccionar individuos representativos de una parcela para la determinación de Dab solamente por su crecimiento basal.

Se destaca la importancia de obtener una muestra homogénea y representativa de cada monte o parcela a estudiar para lo cual se ha propuesto un procedimiento de muestreo general.

El procesamiento de datos ponderado permite obtener valores de propiedades físicas fundamentales ajustados a los pesos relativos según el volumen representado. En busca de una simplificación en el proceso de muestreo, la altura recomendada para obtener muestras representativas de cada árbol sería aproximadamente a los 30% de la altura comercial.

## REFERENCIAS

- \* V.P. Ikonen, H. Peltola, L. Wilhelmsson, A. Kipela, H. Vaisanen, T. Nuutinen and S. Kellomaki, "Modelling the distribution of wood properties along the stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) as affected by silvicultural management", *Forest Ecology and Management* 256: 1356-1371 (2008).
- \* D.V. Igartúa, S.E. Monteoliva, M.G. Monterubbianesi and M.S. Villegas, "Basic density and fibre length at breast height of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* or parameter prediction of the whole tree", *IAWA Journal*, 24 (2): 173-184 (2003).
- \* J. Doldán, "Propiedades físicas *E. grandis*", LATU 2003
- \* C.A. Raymond and A. C. Mac Donald "Where to shoot your pilodyn: within tree variation in basic density in plantation *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in Tasmania", *New Forests* 15: 205-221 (1998).
- \* A. Muneri and C.A. Raymond "Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties I. Basic density" *Wood Science and Technology* 35: 25-39 (2001)
- \* A. Muneri and C.A. Raymond "Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties II. Fibre length and coarseness" *Wood Science and Technology* 35: 41-56 (2001)
- \* J. Ohshima, S. Yokota, N. Yoshizawa and T. Ona "Examination of within-tree variations and the heights representing whole-tree values of derived wood properties for quasi-non-destructive breeding of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus globulus* as quality pulpwood" *J Wood Sci* 51:102-111 (2005).
- \* D. Igartúa, S. Monteoliva and C. Nuñez "Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de una plantación de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Buenos Aires, Argentina" *Proc. III CIADICYP, Córdoba, España*, pp. 69-79 (2004)



Visite nuestra web  
[www.spf.com.uy](http://www.spf.com.uy)