

VARIACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA DE *Eucalyptus grandis* EN ARBOLES DE SIETE AÑOS DE EDAD

Bibiana Arango A.¹; Juan Felipe Hoyos G.²;
Angela María Vásquez C.³

RESUMEN

En el presente trabajo se estima la variación de la densidad básica de la madera con la altura de los árboles en clones de Eucalyptus grandis de 7 años de edad, seleccionados en plantaciones forestales de la empresa Smurfit Cartón de Colombia localizadas en los municipios de Restrepo, Pereira y Popayan, encontrándose que la densidad decrece desde la base del árbol hacia el nivel del D.A.P y luego, a partir de este aumenta hacia la copa hasta el 75% de la altura total del árbol. De igual manera se establecen correlaciones entre la densidad básica media de la madera en función de las tres zonas de estudio y los diferentes clones.

Se comparan tanto las metodologías empleadas para la determinación de la densidad básica (Norma Tappi 258-om-94 y el Método del Máximo Contenido de Humedad) como los diferentes tipos de muestras empleadas para la determinación de la misma (muestras tipo disco de madera y muestras de barreno). El rango de variación de la densidad básica media para las muestras tipo disco de madera fue de 0.40 a 0.59 g/cm³ y para las muestras de barreno fue de 0.38 a 0.55 g/cm³. Respecto a los métodos para la determinación de la densidad básica media de la madera en muestras de barreno, el método del máximo contenido de humedad mostró una subestimación de aproximadamente 3% de la misma en comparación con los valores obtenidos por el método de la

¹ Ingeniera Forestal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. e-mail: sbaalzat@carpa.ciagri.usp.br

² Ingeniero Foresta. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. e-mail: conga@epm.net.co

³ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. e-mail: amvasque@perseus.unalmed.edu.co

balanza hidrostática.

Finalmente se concluye que la variabilidad de la densidad básica media de la madera esta estrechamente ligada al efecto que ejercen sobre ella las interacciones: sitio-clon, sitio-posición longitudinal y posición longitudinal-clon, lo anterior mediante la evaluación de varios modelos de regresión ajustando los valores de la densidad básica estimada en función de parámetros como la altura total de los árboles, la densidad básica media determinada en muestras de barreno y los sitios.

$$DB = b_0 + b_1 \left(\frac{HT}{Db^2} \right) + b_2 (P2) + b_3 (P3)$$

El modelo que presentó el mejor ajuste para la determinación de la densidad básica media fue:

Donde (HT) es la altura total, (Db) es la densidad básica media tomada con muestras de barreno y P2, P3 representan las variables ficticias Dummy para los sitios.

Palabras clave: Densidad Básica, clon, barreno, diámetro a la altura del pecho (DAP), interacciones.

ABSTRACT

VARIATION OF THE BASIC DENSITY OF THE WOOD OF Eucaliptus grandis IN SEVEN YEAR-OLD TREES.

Variation of the basic density of the wood with height of trees in Eucaliptus grandis clones of 7 years old is estimated in the present work. They were selected in forestry plantations of Smurfit Cartón de Colombia company, located in the towns of Restrepo, Pereira and Popayan. It was found that density decrease from the tree base up to the diameter at breast height (dbh) and, from this level, density increase toward the crown up to the 75 % of the total tree height. Equally, correlation among mean basic density of the wood according to the three study sites and the different clones were established.

Methodologies used for the basic density determination (Tappi 258-om-94 regulation and the Maximum Humidity Content Method) as well as the different types of samples used for its determination (wood-disc type samples and drill samples) are compared. The rate of variation of mean basic density for the wood-disc type samples was of 0,40 to 0,59 g cm⁻³ and for

the drill samples it was of 0,38 to 0,55 g cm⁻³. With respect to methods for the determination of mean basic density of the wood in drill samples, the Maximum Humidity Content Method showed an underestimation of approximately 3% of the humidity compared to the values obtained using the hydrostatic scales method. Finally, it is concluded that variability of mean basic density of the wood is closely related to the effect that clone-site, longitudinal position-site, and longitudinal position-clone interactions exert on it. The previous conclusion was made through the evaluation of several regression

$$DB = b_0 + b_1 \left(\frac{HT}{Db^2} \right) + b_2 (P2) + b_3 (P3)$$

models fitting the basic density values estimated according to parameters as the total tree height, the mean basic density estimated with drill samples, and the sites. The best fitted model for the determination of the mean basic density was,

Where, HT is Total Height (m), Db is Mean Basic Density determined with drill samples (g cm⁻³) and P2, P3 are Dummy fictitious variables for the sites.

Key words: Basic Density, Clone, Drill, Diameter at Breast Height (dbh), Interactions.

INTRODUCCIÓN

El *E. grandis* es una especie exótica con excelentes condiciones de desarrollo, ampliamente utilizado en los procesos de reforestación y como materia prima en las grandes industrias de celulosa y tableros de fibra.

La densidad básica de la madera es una de las propiedades físicas más estudiadas, de fácil determinación e indicadora de la calidad y el rendimiento de la misma como de sus derivados, dependiendo su variación dentro y entre individuos de factores como la edad, el sitio y los tratamientos silviculturales.

Son pocos los estudios reportados en nuestro país en términos de la variabilidad, tanto en sentido longitudinal como radial, de esta propiedad de la

madera para el género *Eucalyptus* siendo en algunos casos contradictorios e imprecisos para el desarrollo de modelos generales.

Es así como el presente trabajo estima la variación de la densidad básica de la madera en clones de *E. grandis* con el objeto de evaluar como y que factores la afectan o se correlacionan con la misma.

REVISIÓN DE LITERATURA

Según Evans *et al*, (1997) la densidad tiende a incrementarse en sentido médula – corteza y desde la base hacia la copa del árbol, argumentando que para el diseño de un modelo de variación es importante tener en cuenta el número de muestras a tomar en el árbol, ya que de este depende su exactitud y por ende los resultados.

En el *E. grandis* las mayores variaciones de la densidad de la madera dentro de los árboles han sido atribuidas a la edad o posición radial y en menor grado, a la altura en el tronco (Bamber *et al*, 1982); entre árboles ha sido ampliamente comprobada la influencia de la procedencia y el sitio (Bamber y Humphreys, 1963; Brazil y Ferreira, 1979).

Carpim y Barrichelo (1984) en un estudio sobre la influencia de la procedencia y las clases diamétricas en las

Por otro lado Wilkins y Horner (1991) señalan que los valores de densidad media de los discos de madera utilizados en dicho estudio, decrecieron significativamente por encima del 25% de la altura total de los árboles, presentando un incremento significativo en un porcentaje mayor del 11% con la aplicación de fertilizante y también un aumento significativo del volumen, por encima del 27% en el tratamiento que incluyó fertilizante, desmalezado y aplicación de insecticida.

Barrichelo y Brito (1984) analizando la variación longitudinal y radial de la densidad básica de la madera en 25 árboles de 13 años de edad de *E. grandis*, observaron de una manera general, mayores valores en la base de los árboles, con una disminución hacia el D.A.P y un nuevo incremento a partir de este punto en dirección a la copa.

Evans *et al* (1997), trabajando con árboles de *E. globulus*, *E. nitens* y *E.*

características de la madera de árboles de *E. grandis*, encontró que a nivel longitudinal la densidad básica de la madera presentó los valores más altos en la base, al 75 y 100% de la altura comercial, así mismo, al considerar las posiciones longitudinales y las procedencias, encontraron como resultado un modelo cúbico que muestra pequeñas variaciones en cuanto a los valores de densidad según la procedencia.

regnans, realizaron un muestreo de 10 árboles para las dos primeras especies en cinco sitios diferentes, para la restante se seleccionaron 10 árboles de un solo sitio. De cada árbol seleccionado se tomaron muestras entre el 0 y el 70% de la altura total, a intervalos de 10%, encontrando en las tres especies, un incremento lineal de la densidad de la madera por encima del 10% de la altura total de los individuos; acompañado por algunos decrecimientos por debajo del mismo porcentaje, comportamiento reportado en varias investigaciones, en las que también se aclara que ocurre invariablemente en los primeros 0.5m por encima del suelo.

Se observa así que la variación de la densidad puede ocurrir en función de múltiples factores como son la tasa de crecimiento, el clima, los tratamientos silviculturales, el sitio, el número y posición de las muestras tomadas en un mismo árbol, la edad, e incluso, de combinaciones entre los mismos, con marcadas variaciones tanto entre árboles de una misma especie como dentro de un

mismo individuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La división de investigación forestal de la empresa Smurfit Cartón de Colombia estableció en 1987 un programa de mejoramiento genético clonal, el cual comenzó con la selección de árboles superiores de *E. grandis*. De los 460 clones ensayados inicialmente, se eligieron 65 (Lambeth *et al*, 1992) para realizar posteriores ensayos de interacción clon – sitio, los cuales fueron establecidos entre noviembre y diciembre de 1991 en

A partir de dicho diseño se seleccionaron tres de los siete sitios establecidos inicialmente según los rendimientos en volumen, crecimiento en altura de los árboles, resistencia a daños causados por insectos y accesibilidad, así:

finca La Suiza (Departamento del Valle), finca El Cedral (Departamento de Risaralda), y finca La Arcadia (Departamento del Cauca).

En cada sitio se seleccionaron tres bloques al azar con ayuda del programa estadístico SAS y los mejores 30 clones según una selección realizada previamente por la empresa, basada en la forma y volumen de los árboles.

Se verificó la ausencia de 15 de estos clones en la finca La Arcadia y de uno en la finca El Cedral. De cada clon se eligió el árbol más representativo dentro de la hilera, tanto por su rectitud como por su volumen, obteniendo en la finca La Suiza,

siete sitios de la Región Andina Colombiana, en los departamentos de Risaralda, Quindio, Valle y Cauca.

Cada sitio contó con un diseño en bloques al azar, conformados por parcelas en hileras de seis árboles; cada una representando un clon diferente (Endo y Wright, 1993). Cada repetición fue diseñada para disminuir la variación ambiental existente o supuesta, de tal manera que los rametos de un mismo clon fueron expuestos a varios microambientes dentro de cada sitio.

un total de 90 árboles, en la finca El Cedral 87 árboles y en la finca La Arcadia 45 árboles, para un total de 222 árboles en los tres sitios.

A cada uno de los árboles seleccionados se le midió su DAP y se le extrajo una muestra de barreno de corteza a corteza, al nivel de DAP siempre en el mismo sentido, Norte – Sur ó Este – Oeste; orientación que se determinó según la inclinación de las copas y eligiendo la dirección perpendicular a la inclinación de las mismas, para evitar la presencia de madera de reacción. Posteriormente, cada árbol fue derribado y desramado, para medir su altura total y extraerle cinco discos de madera con un espesor entre los 2.5 y 3.5 cm al 0, 25, 50 y 75 % de la altura total y también al nivel del DAP.

Las muestras tomadas en campo fueron llevadas al laboratorio de productos forestales “Hector Anaya López” de la

Universidad Nacional de Colombia, donde se sumergieron en tanques de agua para obtener su total saturación, es decir, hasta obtener en ellas el contenido máximo de humedad, el proceso de saturación tardó aproximadamente 15 días.

Tanto las muestras tipo disco de madera como de barreno, fueron empleadas para la determinación de la densidad básica mediante el método de la Balanza Hidrostática (Norma Tappi 258 om-94), determinando los parámetros de: masa sumergida en agua (M_s), masa verde (M_v), masa seca al horno (M_{sh}), y $D = M_{sh} / V_v$ (2)

Las muestras de barreno también fueron empleadas para la determinación de la densidad básica por el método del máximo Contenido de Humedad, desarrollado por Foelker, Milanez y Busnardo (1983), especialmente para muestras pequeñas e irregulares de madera del género *Eucalyptus*.

Este método parte de dos suposiciones que garantizan su precisión. La primera consiste en asumir que la densidad real de la sustancia madera es de 1.53 g/cm^3 . La segunda suposición, consiste en garantizar la completa saturación de las muestras de madera en agua, razón por la cual este método se recomienda especialmente para ser utilizado con muestras pequeñas e irregulares. El estado de máxima saturación se comprueba por pesajes sucesivos de muestras testigos hasta que este valor se establezca.

volumen verde (V_v) donde:

$$V_v = M_v - (+/- M_s) \quad (1)$$

Es necesario resaltar que en la ecuación anterior, cuando la masa saturada flota, el valor de la masa sumergida que se registra en la balanza puede ser negativo, lo cual ocurre con mayor frecuencia en las muestras de barreno que en las muestras tipo disco.

La densidad es obtenida mediante la ecuación:

Luego la densidad básica es determinada según la ecuación:

$$D_b = 1 / [(P/P_s) - 0.346] \quad (3)$$

donde

P : masa absoluta de las muestras saturada

P_s : masa seca al horno de las muestras.

Para la determinación de P_s las muestras son llevadas al horno a una temperatura controlada de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta obtener valores de masa constante.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de los resultados obtenidos en la determinación de la densidad básica de la madera, fue realizado a través de cálculos estadísticos básicos, análisis de varianzas y modelos de regresión.

El análisis de varianzas fue utilizado para estimar el nivel de significancia de

los resultados obtenidos en la determinación de la densidad básica de la madera en función de los diferentes porcentajes de altura evaluados, los sitios y los clones seleccionados.

Finalmente se ensayaron varios modelos de regresión para ajustar los valores de densidad básica estimada en función de parámetros como la altura total de los árboles, la densidad básica media determinada en muestras de barreno y los sitios, estos últimos introducidos en la regresión como variables ficticias (Dummy), debido a su carácter más

En los tres sitios evaluados el comportamiento de la densidad básica en relación con los diferentes porcentajes de altura fue similar a la reportada por Barichelo e Brito, (1984) donde la densidad decrece de la base hacia el nivel de D.A.P y luego, a partir de este punto aumenta hacia la copa hasta el 75% de la altura total del árbol.

En la Figura 1 puede observarse el comportamiento promedio de la variación de la densidad básica media para los tres sitios de estudio en función

cuantitativo que cuantitativo (Lema, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada uno de los sitios en los que se realizó el estudio se trabajó separadamente la variación de la densidad básica de la madera en función de los diferentes porcentajes de altura, con la finalidad de observar las posibles variaciones en un mismo sitio frente a los clones evaluados y poder comparar posteriormente estos comportamientos con los demás sitios.

de los diferentes porcentajes de altura.

En los tres sitios evaluados se encontraron diferencias estadísticas en los valores de la densidad básica media, siendo que en la finca La Suiza se reportaron los mayores valores y en la finca El Cedral los más bajos. Esto permitió establecer una clasificación de los sitios, con el fin de definir con mayor exactitud aquellos que presentan mejores rendimientos en términos de la densidad básica óptima para la posterior elaboración de los productos finales.

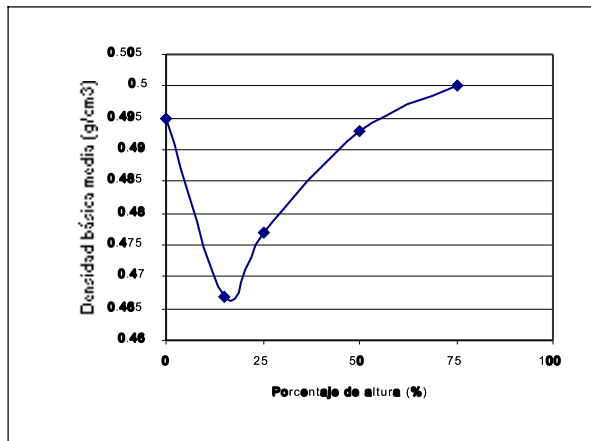


Figura 1. Variación de la densidad básica media de la madera según los diferentes porcentajes de altura.

El rango de variación de la densidad básica media para las muestras tipo disco de madera fue de 0.40 a 0.59 g/cm^3 y para las muestras de barreno fue de 0.38 a 0,55 g/cm^3 , lo que indica una subestimación del valor de la misma, con este último tipo de muestra en aproximadamente 6,25%.

De igual manera, los valores de la densidad básica media de la madera

obtenidos en las muestras de barreno por el método del máximo contenido de humedad, mostraron una subestimación de aproximadamente 3% de la misma, en comparación con los valores obtenidos por el método de la balanza hidrostática.

Los criterios empleados para calificar y seleccionar los múltiples modelos de

regresión fueron el coeficiente de correlación, el estimador para el modelo (F de Fisher), la t de student, el cuadrado medio del error, los niveles de significancia para los estimados del modelo (P-value) y la gráfica de residuales.

En la Tabla 1 se pueden observar las variables más relevantes en el ajuste del modelo seleccionado para la determinación de la densidad básica.

Tabla 1. Análisis de varianza para el modelo seleccionado.

Parámetro	Estimado	Error Estandar	T	P-Value
Constante	0624606	00089963	694392	00000
H/Db ²	-0000848152	000005491	-154452	00000
P2	00188347	000593797	317191	00017
P3	-00173933	000617794	-281538	00053

Análisis de Varianza

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	cuadrado Medio	F-ratio	P-value
Modelo	0377803	3	0125934	12250	00000
Resigual	022205	216	000102801		
Total (Corr)	0599853	219			

De esta manera se ajusto el siguiente modelo de variable combinada:

$$Db = b_0 + b_1 (HT/Db^2) + b_2(P_2) + b_3(P_3)$$

Donde (HT) es la altura total, (Db) es la densidad básica media tomada con muestras de barreno y P₂ y P₃ representan las variables ficticias Dummy para los sitios.

Los bajos valores asociados de P-values (0,01), el error estándar y el coeficiente de determinación de 79.03%, muestran que este modelo es altamente confiable para la estimación de la densidad básica media a un nivel de significancia del 99% según las tablas de Snedecor, (1946).

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos puede concluirse que:

Existe un efecto estadísticamente significativo de los sitios, los clones y la posición longitudinal, sobre la variación de la densidad básica media de la madera en árboles de *E. grandis*.

La densidad básica de la madera varía con la altura de muestreo, observándose en los tres sitios y en la mayoría de los clones, un decrecimiento de esta propiedad desde la base del árbol hasta el nivel del D.A.P, con un aumento posterior hacia la copa hasta el 75% de la altura total del árbol.

Los clones ubicados en la finca La Suiza (municipio de Restrepo) reportaron los mayores valores de densidad básica media de la madera. De igual forma, aquellos ubicados en la finca El Cedral (municipio de Pereira) reportaron los valores más bajos; lo que permitió establecer una clasificación inicial de los sitios de muestreo. La densidad básica media de la madera en los tres sitios vario

entre 0.40 y 0.59 g/cm³.

La variabilidad de la densidad básica media de la madera esta estrechamente ligada al efecto que ejercen sobre ella las interacciones: sitio-clon, sitio-posición longitudinal y posición longitudinal-clon; indicando así que el sitio sobre el cual se desarrollan los individuos es el factor más determinante en la variación de la densidad básica.

Se observó una alta correlación entre la densidad básica media del árbol en función de la densidad determinada en las muestras de barreno tomadas al nivel de D.A.P, la altura total y los sitios.

El método del Máximo Contenido de Humedad resultó mucho más práctico, funcional y de fácil aplicación, brindando un alto nivel de confiabilidad en la determinación de la densidad básica de la madera.

BIBLIOGRAFÍA

BAMBER, R and HUMPHREYS, F.R. A preliminary study of some wood properties of *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. *Er. Journal of the Institute of Wood Science*. No.11 (1963); p 66 - 70.

_____; HORNER, R and GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the wood properties of *Eucalyptus grandis*. *Er. Australian Forest Research*. N° 12 (1982); p 163 - 167.

- BARRICHELO, L.E.G. e BRITO, J.O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. *En:* XVII CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E BRAZIL, M.A. e FERREIRA, M. Características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, aos 3 anos de idade. *En:* IPEF. Nº 19 (1979); p 80 – 97.
- CARPIM, M.A. e BARRICHELO, L.E. Influencia da procedencia e classe de diametro sobre as características da madeira de *Eucalyptus grandis*. *En:* XVII CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL. (1984: Sao Paulo). Sao Paulo: ABCP, 1984; p 411 – 422.
- ENDO, M y WRIGHT, J. Resultados del primer año de los ensayos de interacción clon por sitio de *Eucalyptus grandis* en la región andina de Colombia. Cali: Smurfit Cartón de Colombia, 1993. 14p (Informe de investigación; No.157).
- EVANS R, DOWNES G.M, RAYMOND C.A, HUDSON I.L, DEAN G.H, MICHELL A.J, SCHIMLECK L.R AND MUNERI A. Sampling plantation eucalyptus. Australia: CSIRO, 1997. 124p.
- FOELKER, C.E e MILANEZ, A.F. e BUSNARDO, C.A. Método do máximo teor de umidade aplicado á determinacao de densidad básica da madeira do eucalipto. *En:* 4º CONGRESSO FORESTAL BRASILEIRO, (8: 1983: Sao Paulo). Sao Paulo: El Congreso, 1983; p 792 – 796.
- LAMBETH, C.C: ENDO, M and WRIGHT, J.A. Análisis genético de 16 ensayos clonales de *Eucalyptus grandis* y comparaciones con lotes testigo de plántulas, resultados finales a los 3 años de edad. Cali: Smurfit Cartón de Colombia, 1992. 37p. (Informe de investigación Nº 142).
- LEMA, T.A. Dasometría: algunas aproximaciones estadísticas a la medición forestal. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 1995; p 112 – 119.
- SENEDECOR, G.W. Statistical methods. 4^{ed} Iowa: The Iowa State College Press, 1946.
- TAPPI. Basic density and moisture content of pulpwood. S.l.: tappi s.f. 6p. (Norma 258 om-94)
- WILKINS, A.P and HORNER, R. Wood density variation of young plantation grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. *En:* Forest Ecology and Management. Vol 49 (Sep 1991); p 39 – 50.

Aprobado para su publicación:
Junio 14 de 2001