

INFOR-FONDEF

253c
INFOR



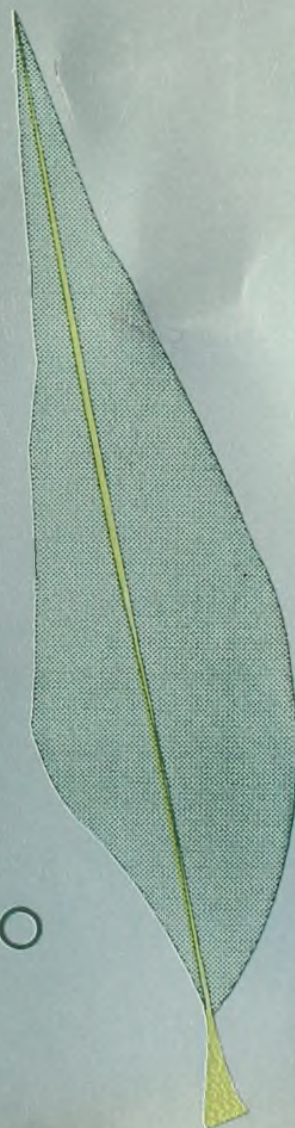
0000164

Determinación de funciones de volumen y razón de volumen para Eucalipto

Carlos Bahamóndez Villarroel
Mauro Ferrando Toso
Marjorie Martin Stiven
Juan Carlos Pinilla Suárez

Proyecto CONICYT-FONDEF
Antecedentes biométricos y
modelos de apoyo a la
gestión racional del Eucalipto

Diciembre 1995



INFOR-FONDEF

DETERMINACIÓN DE FUNCIONES DE VOLUMEN Y RAZÓN DE VOLUMEN PARA EUCALIPTO.

**Carlos Bahamóndez Villarroel
Mauro Ferrando Toso
Marjorie Martin Stiven
Juan Carlos Pinilla Suárez**

**Proyecto CONICYT-FONDEF
Antecedentes biométricos y modelos de
apoyo a la gestión y manejo racional del
Eucalipto.**

Diciembre 1995

Determinación de Funciones de Volumen y Razón de Volumen para Eucalipto.

Introducción

Se calculan funciones de volumen y de razón de volumen por árbol para Eucalipto. Se entrega además un análisis de posibles diferencias en la estimación del volumen entre las especies involucradas en el proyecto.

El establecimiento de relaciones funcionales estáticas para el género *Eucalyptus* es un tópico de interés creciente dado el aumento que este recurso ha tenido en los últimos años. El contar con funciones de volumen para distintos índices de utilización permitirán la evaluación más precisa del recurso.

Aunque el actual inventario presenta una estructura de edades con una fuerte presencia de edades jóvenes, las cortas rotaciones esperadas a futuro, hacen aconsejable el cálculo de funciones que permitan la estimación del volumen individual.

Para el establecimiento de los datos que sirven de base para el cálculo de las funciones, se plantea un muestreo de rodales que permita cubrir el máximo rango posible de edades, así como, la más amplia distribución geográfica evitando sobresaturar de muestras zonas geográficas con mayor concentración de plantaciones. Las unidades muestrales seleccionadas corresponden a parcelas circulares de 500 m², de las cuales se toman datos de diámetro y altura a cada individuo a objeto de rescatar la distribución diamétrica, para, posteriormente seleccionar 3 individuos que corresponden a una posición determinada dentro de esta distribución diamétrica. En este informe se presentan los aspectos característicos de los datos, su metodología de rescate en terreno, el tratamiento de éstos para la obtención de los modelos y los ajustes a modelos, así como, un análisis comparativo de los modelos entre especies, y entre modelos históricamente utilizados. Finalmente, se describen los resultados obtenidos.

Datos

Criterios de selección de los rodales.

Los rodales candidatos para la muestra de volumen se seleccionan de acuerdo a los siguientes criterios:

- Rangos de edad, mayor o igual a 4 años.
- Rodaes de monte alto.
- Plantación perteneciente a rodaes establecidos con fines productivos y no de ensayos.

La localización geográfica del punto de muestreo pretende obtener un número de muestras geográficamente bien distribuidas. El número de parcelas resultantes corresponde a 53 puntos de muestreo. La distribución geográfica se muestra en los mapas N°1, N°2 y N°3, a continuación:

Metodología

La metodología utilizada para la obtención de los datos de volumen se puede dividir en dos aspectos principales:

- 1) El método de aproximación a los rodales seleccionados
- 2) El diseño de la unidad muestral y el método de selección de los individuos para muestreo.

Método de aproximación gruesa al rodal seleccionado.

La parcela de muestreo en terreno puede ser localizada por medio de 2 procedimientos de aproximación final.

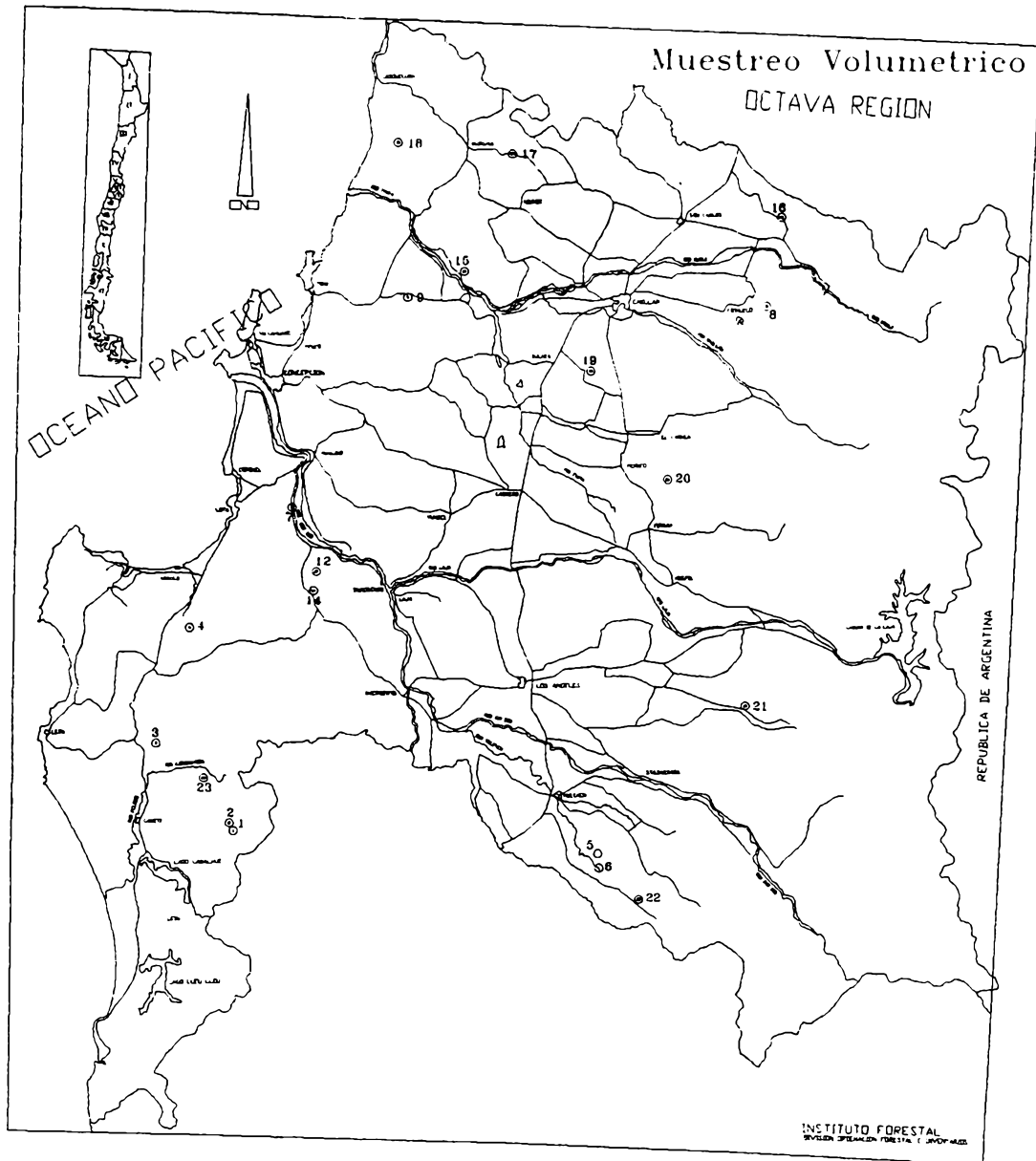
1. El método tradicional mediante el uso de cartografía a escala predial más uso de fotografías aéreas.
2. El método de aproximación mediante el uso de instrumentos GPS (Global Positioning with Satellite).

En esta oportunidad, se decide el uso de localización del rodal mediante GPS, debido principalmente a la imposibilidad de contar, oportunamente, con la cartografía predial asociada a todos los rodales seleccionados.

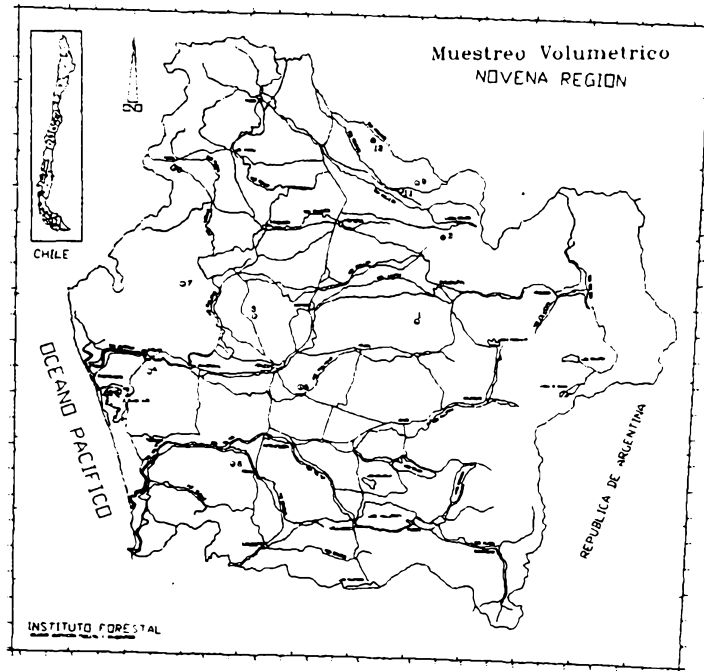
El método de los GPS, permite un acceso eficiente mediante navegación siempre y cuando, se cuente con información y material de apoyo como:

- a) Cartografía digitalizada de todos los caminos a nivel regional.
- b) Computador personal portátil.
- c) Soporte lógico capaz de desplegar esta cartografía de manera eficiente.

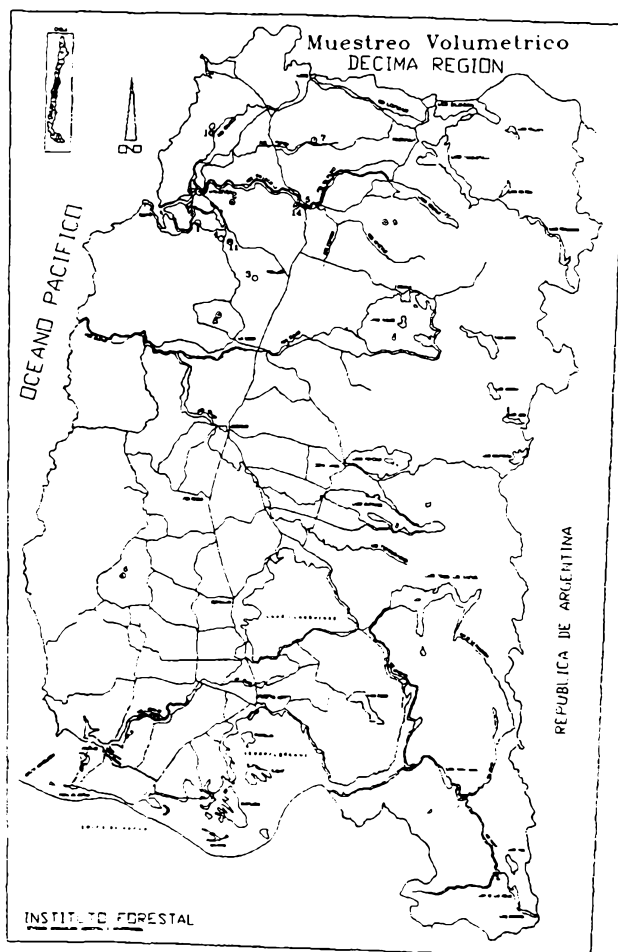
Los mapas siguientes describen los puntos de muestreo originalmente planteados, de acuerdo a la disponibilidad de rodales bajo los criterios de selección antes descritos.



Mapa N°1. Distribución de las parcelas de muestreo volumétrico, VIII región.



Mapa N°2. Distribución de las parcelas de muestreo volumétrico, IX región.



Mapa N°3. Distribución de las parcelas de muestreo volumétrico, X región.

Definición de la unidad muestral.

Para los propósitos de este estudio, se establece como unidad muestral, parcelas circulares de 500 m², para el caso en que la pendiente sea menor o igual al 15%. En caso contrario, se realiza una parcela cuadrada de igual superficie.

La metodología de instalación de la parcela en terreno comprende los siguientes pasos:

1. Selección del área para la instalación de la parcela dentro del rodal.

Una vez localizado el rodal en terreno, se selecciona una dirección al azar y luego se ingresa al interior del rodal al menos 20 m, asumiendo el punto de llegada como el punto centro de la parcela.

2. Definición de la forma de la unidad muestral.

Una vez reconocido el punto centro de la parcela, se procede a la medición de la pendiente para definir cual deberá ser la forma de la parcela. Circular para pendientes menores o iguales que 15%, o cuadradas para pendientes mayores de 15%.

Método de selección de los individuos

El método de selección de los 3 individuos al interior de la parcela, comprende las siguientes etapas:

1. Se miden los individuos de la parcela registrando:

DAP : Diámetro a la Altura del Pecho en cm.

Ht : Altura total en metros a los 8 individuos más cercanos al centro.

2. Ingreso sorteo de los individuos de la parcela de mayor a menor por DAP.

3. Numeración de la lista ordenada de 1 a N.

4. Cálculo de la siguiente expresión para cada individuo.

$$Na = P * N + 0,5$$

donde

Na : Número de orden del individuo a seleccionar, redondeado al entero más cercano. Para el caso en que *Na* contenga decimal 0,5 se redondea al par más cercano.

P : Tanto por 1 de la distribución (0,2, 0,5 ó 0,8).

N : Número total de individuos de la parcela.

Las mediciones realizadas en cada individuo volteado corresponden a:

- Altura de Tocón
- Diámetro de Tocón.
- Altura Total.

- Diámetro a 0,5m, para la primera sección antes de 1,30 m
- Diámetro cada 1,0 m en secciones hasta los 5 cm de diámetro límite.
- Espesor de corteza (2 mediciones por cada diámetro medido).
- Diámetro de ramas cada 0,5 m.
- Espesor de corteza de la sección de rama correspondiente.

Los datos correspondientes a estas mediciones, son ingresados a base de datos y corregidos para su posterior procesamiento.

Ajuste de los modelos y análisis de los resultados

Con la información disponible, se calculan funciones de volumen de árbol individual por especie para un índice de utilización de 5 cm. También, se realiza una comparación entre los resultados obtenidos por la nueva función tanto entre especies y aquellas que arrojan otras calculadas con anterioridad. Por otra parte, se calcula una función de razón de volumen a objeto de obtener volúmenes a distintos índices de utilización.

Cálculo de la Función de Volumen

Datos

Las Figuras N°1 a 4 describen los datos básicos y sus relaciones con algunas variables explicativas.

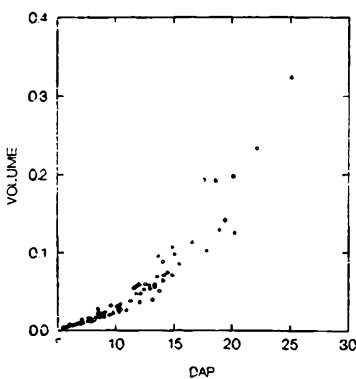


Fig. N°1. Relación DAP- Volumen Observado ($m^3 ssc$)

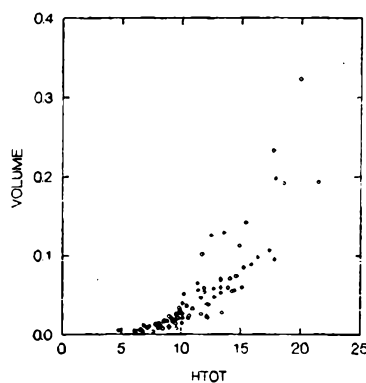


Fig. N°2. Relación Altura total (m)(HTOT)- Volumen observado($m^3 ssc$)

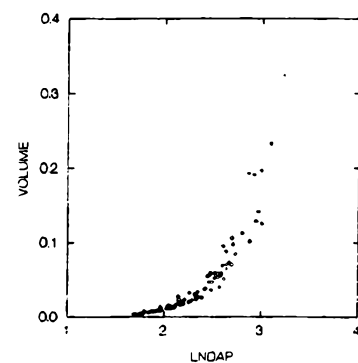


Fig. N°3. Relación LnDAP- Volumen observado($m^3 ssc$)

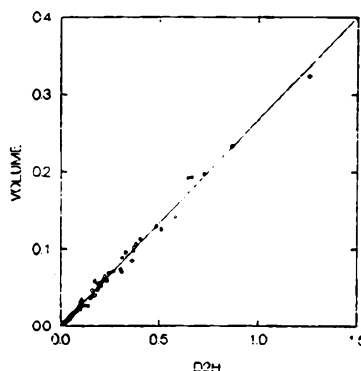


Fig. N°4. Relación $DAP^2 H$ - Volumen observado($m^3 ssc$)

Modelos probados

Los siguientes modelos matemáticos fueron probados para la estimación de la función de volumen en *Eucalyptus globulus*, y *Eucalyptus nitens*.

Spurr

$$V = b_1 D^2 H$$

Spurr

$$V = b_0 + b_1 D^2 H$$

Ogaya

$$V = D^2 (b_0 + b_1 H)$$

Stoate

$$V = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 H$$

Meyer

$$V = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 D H + b_4 D^2 H$$

La Figura N°5, muestra una comparación gráfica para cada uno de los modelos antes mencionados. Si bien este gráfico presenta limitaciones en términos comparativos, resulta útil como comprobación gráfica del comportamiento de los distintos modelos, es notorio que el modelo de *Meyer* es el menos adecuado, mientras los otros modelos *Spurr s/cte*, *Spurr c/cte*, *Stoate* y *Ogaya* tienen un comportamiento similar.

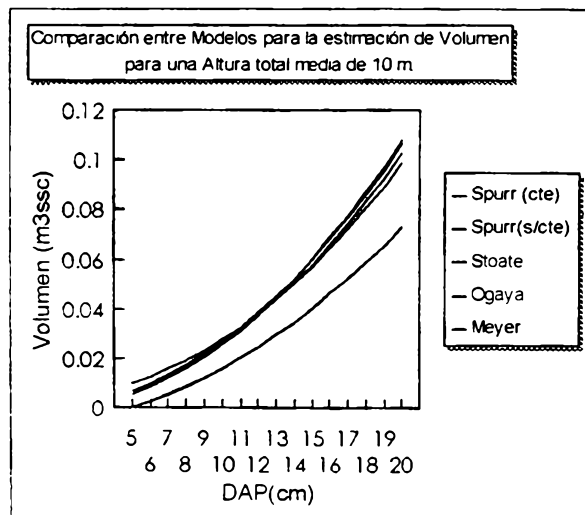


Fig.N°5. Comparación gráfica de las distintas funciones existentes y la función calculada por el proyecto.

Criterios de selección del modelo final.

Junto a la observación y comparación de los indicadores de ajuste como son el coeficiente de determinación, error estándar de estimación y autocorrelación, la selección del modelo final se basa en el comportamiento de los residuos, principalmente, la verificación de los supuestos de la regresión como son independencia y normalidad y varianza homogénea. La selección final corresponde al modelo de *Spurr* con constante, la regresión se realiza por medio del método de los mínimos cuadrados y se aplica una regresión ponderada para evitar el problema de la heterocedasticidad.

Spurr

$$V = b_0 + b_1 D^2 H$$

donde

V : Volumen sólido sin corteza (m^3 ssc) para un índice de utilización de 5 cm.

D : Diámetro a la altura del pecho (cm).

H : Altura total (m).

El comportamiento del modelo respecto de sus residuos se detalla a continuación.

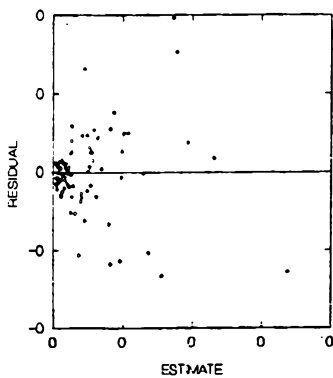


Fig. Nº6a. Homocedasticidad no corregida

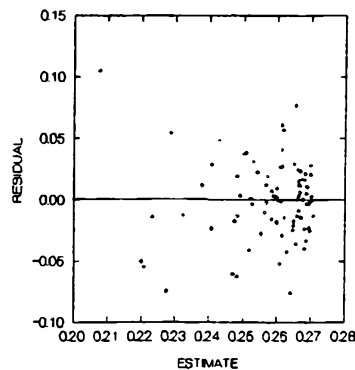


Fig. Nº6b. Homocedasticidad corregida

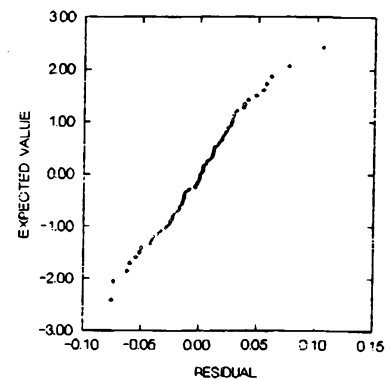


Fig. Nº6c. Normalidad de los residuos

Las Figuras 6a,b y c reflejan el comportamiento de los residuos con regresión ponderada(6b y c) y sin regresión ponderada (6a). El efecto de la ponderación es notorio como se describe en la nube de puntos (Fig.6b). También, en la figura 6c se observa el efecto que la citada corrección provoca en la prueba de la normalidad de los residuos.

Comparación del modelo final con modelos calculados anteriormente

El modelo final descrito en páginas anteriores, se compara tanto entre *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* presentes en la muestra, como entre funciones de volumen ya existentes, a objeto de detectar diferencias significativas. Para esto se recopilan algunas de las funciones más utilizadas como son:

Lisboa (1960).

$$V = -0.00223617 + 0.0000267187D^2H$$

Díaz (1984).

$$V = 0.00127 + 0.00002668D^2H$$

Hernández (1985)

$$V = 0.0850803 - 0.00460581H + 0.0000351046D^2H$$

Kahler-Pinilla (INFOR 1994 no pub.)

$$V = -0.0013933776 + 0.000027376D^2H$$

Las funciones por especie calculadas a partir de este proyecto corresponden a:

Eucalyptus nitens

$$V = 0.0000420231 + 0.000026146D^2H$$

$$r^2 = 0.981$$

$$S_{yx} = 0.0044$$

Eucalyptus globulus

$$V = -0.000481039 + 0.000026415D^2H$$

$$r^2 = 0.984$$

$$S_{yx} = 0.0044$$

Función conjunta para *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*

$$V = -0.0013933776 + 0.000027376D^2H$$

$$r^2 = 0.984$$

$$S_{yx} = 0.0042$$

La comparación entre especies, se realiza mediante análisis de covarianza para la regresión combinada. En el caso de la comparación entre la función nueva y las existentes, se recurre tanto al análisis gráfico como al análisis de varianza proveniente de la regresión entre volúmenes observados versus volúmenes estimados por funciones existentes. Las tablas a continuación describen los resultados de estas comparaciones.

Para comparar entre especies, se recurre al análisis de covarianza por la regresión combinada, debido al carácter más detallado en la explicación de las fuentes de error y a la posibilidad de los datos de expresar estas diferencias (Tabla N°1).

Tabla N°1.

Análisis de Covarianza para regresión Combinada en *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*

Fuente	Suma Cuadrados	g.l.	CME	Razón de Varianza
Regresión	0,00143	1	0,000143	0,12843
Pendientes	9,4E-09	1	9,4E-09	8,428E-06
Intercepto	0,171294	1	0,171294	153,614**
Errores	0,171724	154	0,001115	
Total	0,171867	157		

1** :No hay diferencias significativas

Tabla N°2.

Análisis de Varianza para la comparación entre Volumen de Lisboa y Volumen observado

Fuente	Suma Cuadrados	g.l.	CME	F calculado
Regresión	0,266	1	0,266	9583,923**
Residuos	0,171867	82		

Coeficientes de la Regresión

	Coeficiente	t
Intercepto	0,002	2,313
Vol.Hernández	0,986	97,898

Tabla N°3.

Análisis de Varianza para la comparación entre Volumen de Diaz y Volumen observado

Fuente	Suma Cuadrados	g.l.	CME	F calculado
Regresión	0,266	1	0,266	9583,926**
Residuos	0,002	82		

Coeficientes de la Regresión

	Coeficiente	t
Intercepto	-0,002	-2,216
Vol.Hernández	1,005	97,898

Tabla N°4.

Análisis de Varianza para la comparación entre Volumen de Hernández y Volumen observado

Fuente	Suma Cuadrados	g.l.	CME	F calculado
Regresión	0,258	1	0,258	2160,827**
Residuos	0,010	82		

Coefficientes de la Regresión

	Coefficiente	t
Intercepto	-0,040	-17,592
Vol.Hernández	0,906	46,485

Tabla N°5.

Análisis de Varianza para la comparación entre Volumen Kahler-Pinilla y Volumen observado

Fuente	Suma Cuadrados	g.l.	CME	F calculado
Regresión	0,266	1	0,266	9583,926**
Residuos	0,002	82		

Coefficientes de la Regresión

	Coefficiente	t
Intercepto	0,001	1,194
Vol.Hernández	0,979	97,898

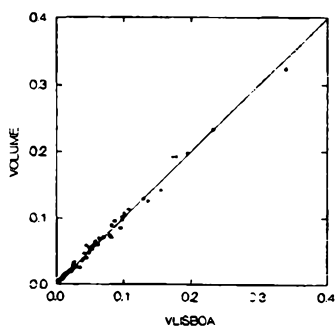


Fig N°7a. Comparación gráfica Volumen observado y Volumen Lisboa(1960)

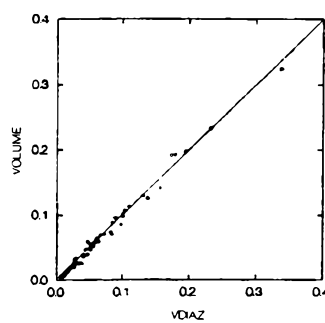


Fig N°7c. Comparación gráfica Volumen observado y Volumen Diaz(1984)

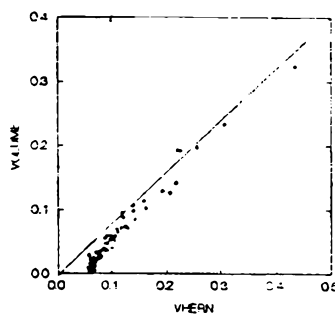


Fig N°7b. Comparación gráfica Volumen observado y Volumen Hernández(1985)

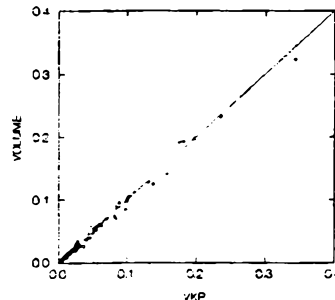


Fig N°7d. Comparación gráfica Volumen observado y Volumen Kahler-Pinilla(1994)

Considerando las comparaciones descritas en las Tablas N°1 a 5 y las figuras 7a,b,c y d, se concluye que:

1. Las funciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* no presentan diferencias significativas. Luego, la función combinada para ambas especies es recomendable.
2. Las funciones de Lisboa(1960), Diaz(1984) y Kahler-Pinilla(INFOR 1994), no presentan diferencias significativas con la función calculada por este proyecto.
3. La función de Hernández(1985), a pesar de no acusar diferencias por el *F* estadístico, éste es notoriamente más bajo, y por observación gráfica directa no se considera equivalente a las otras funciones. Esto se denota claramente en el valor del intercepto, el cual debería ser muy cercano a cero y en su lugar, presenta un valor negativo.

Cálculo de una función de Razón de Volumen

A partir de los datos disponibles, se calcula una función de Razón de Volumen conjunta de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*. Esta función permitirá obtener volumen cúbico sólido sin corteza a distintos índices de utilización (IU). La utilidad de este tipo de funciones radica en el manejo de una función única de volumen para un índice de utilización determinado (IU=5 cm) y mediante la aplicación de la función de razón, obtener volúmenes a otros índices. La función de razón fue calculada para DAP mayores o iguales de 10 cm.

Modelos probados.

Los siguientes modelos fueron probados:

Burkhart (1977)

$$R = 1 + b_1 + \frac{dl^{b_2}}{D^{b_1}}$$

Van Deusen (1981)

$$R = \exp(b_1 \cdot X^{b_2})$$

Mathey & Sullivan

$$R = b_0 \cdot X + b_1 \cdot X^2$$

donde

$$X = \frac{dl}{D}$$

dl: diámetro límite

D: Diámetro a la altura del pecho

De estos modelos, se selecciona una modificación del modelo de *Burkhart* como el más apropiado, considerando principalmente el análisis de residuos. El modelo planteado tiene la siguiente expresión final:

$$R = b_1 + b_2 \frac{dl^{b_3}}{D^{b_4}}$$

con

$$b_1 = 1,028$$

$$b_2 = -1,089$$

$$b_3 = 2,914$$

$$b_4 = 2,737$$

D : DAP en m

dl : Diámetro límite en m

$$r^2 = 0,989$$

El ajuste se realiza minimizando la expresión siguiente:

$$\text{Min}[(R * V_{IU=5cm}^* - V_{dl}^*)^2]$$

La figura N°8 muestra el comportamiento del modelo modificado, respecto de las estimaciones de volumen de razón (VOLS) con los volúmenes observados a distintos diámetros límite (VOLACU).

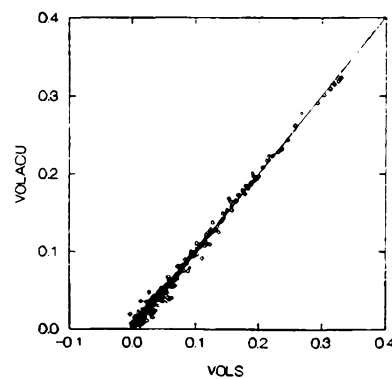


Fig. N°8. Comportamiento de la función de razón de volumen para estimar volúmenes (VOLACU) a distintos diámetros límites (VOLS)

Para calcular el volumen al $IU=dl$, se ejecuta la expresión siguiente:

$$V_{dl} = V_{IU=5cm} * R$$

donde

$$V_{IU=5cm} = \text{Vol en m}^3 \text{ ssc IU} = 5. \text{ cm.}$$

$$V_{dl} = \text{Vol en m}^3 \text{ ssc IU} = dl \text{ cm}$$

R = Razón

Resumen y conclusiones

Para el logro de los objetivos de este módulo de cálculo de funciones estáticas, se informan los aspectos más relevantes de la labor de diseño de muestreo, toma de datos en terreno y metodología para la toma de datos, así como, aspectos de interés del procesamiento de los datos.

Como producto de este módulo, se calcularon funciones de volumen y de razón de volumen para las especies involucradas en el proyecto FONDEF "*Antecedentes Biométricos y modelos de apoyo a la gestión y manejo racional del Eucalipto*". Se realizó un análisis comparativo de los modelos calculados por el proyecto contra algunos de los modelos existentes, concluyéndose que no hay diferencias significativas entre los modelos de Lisboa(1960), Díaz(1984) y Kahler-Pinilla(1994) y el modelo calculado por el proyecto. A su vez, se realiza la comparación de funciones de volumen para cada especie, en este caso *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, concluyéndose, que no son significativamente diferentes para la muestra tomada, generándose así una función única para ambas especies. Los modelos finales para ambas especies involucradas corresponden a:

Función de Volumen árbol individual $V = -0.0013933776 + 0.000027376D^2H$

D : DAP en cm.

H : Altura total en metros

Función de Razón de Volumen ($V_{dl} = V * R$) $R = 1.028 - 1.089 \frac{dl^{2.914}}{D^{2.737}}$

dl : Diámetro de utilización en metros

D : DAP en metros

Nota: Esta función debe utilizarse para DAP mayores o iguales a 10 cm.

Referencias.

Afifi A.A. Azen S.P. 1979. Statistical Analysis, a Computer oriented approach. Academic Press

Draper-Smith. 1967. Applied Regression Analysis. New York. USA John Wiley & sons.

Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento., 1980. FAO. Roma.

Mac Roberts R. 1987. Comparing Regression Curves. Forest Growth Modelling and Prediction. Vol 2. pp 762-769

Martin F., Real P. 1992, Construcción de modelos de razón para predecir Volúmenes comerciales a cualquier índice de utilización. Pinus radiata Investigación en Chile. Silvicultura, Manejo y Tecnología. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias forestales.

Lisboa B., H. Construcción de tablas de Volumen para Eucalyptus globulus. Tesis U de Chile 1960.

Loetsch-Zohrer-Haller, 1973, Forest Inventory. BLV Verlagsgesellschaft Munchen Bern Wien. Vol 2. pp 154.

Prado J.A. y Barros S. 1989, Eucalipto. Principios de Silvicultura y Manejo. Instituto forestal, Corporación de fomento de la Producción.

Volkov, E.A. 1990. Métodos Numéricos. Editorial MIR - Moscú.

Wonnacott & Wonnacott, 1969, Introductory statistics. New York. USA John Wiley & sons.

