

TÉCNICA DE LA SILUETA PARA ESTIMAR ÁREA FOLIAR Y BIOMASA AÉREA EN ESPECIES FORESTALES

Miguel Acosta Mireles¹, Fernando Carrillo Anzures¹
y Octavio Salvador Magaña Torres²

RESUMEN

El área foliar representa el total del aparato fotosintético; su cuantificación requiere de análisis destructivos, aun cuando se ha recurrido al uso de ecuaciones alométricas. La biomasa de un organismo se asocia con su índice de productividad. La proyección del área de la copa de un árbol mantiene una relación directa con su área foliar y su biomasa; para el silvicultor o el plantador es importante conocerla para estimar la calidad de una planta con sólo medir dicha característica. Mediante el análisis de regresión lineal simple se ajustó un modelo de la forma $Y = \beta_0 + \beta_1 X$ para determinar la vinculación que existe entre la proyección de las siluetas de la copa y el tallo de plantas jóvenes de *Eucalyptus* sp. con su área foliar y biomasa de la parte aérea; Y representó a la biomasa y al área foliar como variables dependientes y X al área proyectada de las hojas como independiente. De esta manera se obtuvieron dos modelos, uno que asocia el área foliar en función del área proyectada ($r^2 = 0.91$) y otro que determina la relación entre la biomasa aérea total y el área proyectada ($r^2 = 0.83$). Los resultados indican que la sombra de la silueta de las hojas tiene una alta correlación con su área foliar y con su biomasa, pero es mayor entre las siluetas de las hojas y su área foliar.

Palabras clave: Área foliar, área proyectada, biomasa, ecuaciones alométricas, *Eucalyptus*, silueta.

ABSTRACT

The foliar area is equivalent to the whole photosynthetic individual system; in order to quantify it, a destructive analysis must be done, even though allometric

Fecha de recepción: 10 de julio de 2003.

Fecha de aceptación: 04 de mayo de 2005.

¹ Campo Experimental Valle de México, C.I.R. Centro, INIFAP. Correo-e: acosta.miguel@inifap.gob.mx

² Coordinación de Investigación, Innovación y Vinculación, INIFAP.

models have been used. Biomass is related to the productivity index of an organism; the projection of the canopy area of a tree keeps a direct relation with the foliar area and its biomass; it is important for the forester to know this relation in order to assess plant quality just by measuring this characteristics. Through a simple linear regression analysis, a linear model of the form $Y = \beta_0 + \beta_1 X$ was adjusted to determine the relationship between the projected silhouette of the canopy plus stem of seedlings of *Eucalyptus* sp. with its leaf area and aerial biomass. Y represented aerial biomass and leaf area as dependent variables and X the projected area of canopy plus stem as independent variable. Two models were obtained, one expressed the leaf area as a function of the projected area ($r^2 = 0.91$) and other that estimated total aerial biomass as a function of projected area ($r^2 = 0.83$). Results showed that the area of the canopy silhouette has a high correlation with leaf area and with aerial biomass, but there is even a higher association between the silhouette and its foliar area.

Key words: Leaf area, projected area, biomass, allometric equations, *Eucalyptus*, silhouette.

INTRODUCCIÓN

El área foliar de un árbol refleja, en cierta medida, las características de productividad del individuo, ya que representa la superficie disponible para la intercepción de energía, la absorción de bióxido de carbono y la difusión de agua de la hoja hacia la atmósfera (Margolis *et al.*, 1995). El área foliar constituye en sí, el total del aparato fotosintético; sin embargo, su cuantificación es muy laboriosa y por lo regular, se requiere de análisis destructivos para determinarla. Por lo anterior, con frecuencia se recurre a la estimación del área foliar mediante el uso de ecuaciones alométricas, que son funciones matemáticas que establecen la correspondencia entre los tamaños de las partes de un individuo (Huxley, 1932); éstas han sido muy utilizadas en especies leñosas forestales para calcular la biomasa aérea total y el área foliar a partir del diámetro normal o del área de la albura (Grier y Waring, 1974; Espinosa-Bancalari *et al.*, 1987; Geron y Ruark, 1988; Chapman y Gower, 1991 y Cano-Morales, 1993).

La biomasa de un individuo se identifica con su índice de productividad, por lo que podría ser un indicador de su vigor. En las plantaciones forestales es muy importante evaluar la biomasa de los árboles que se incorporarán con el fin de asegurar el éxito de las mismas. Algunas de las variables que se han seleccionado para estimar el vigor de las plántulas son el diámetro del tallo a la altura del cuello de la raíz y la altura total, aunque se considera que existen otros criterios que pueden ser más precisos; como por ejemplo, el área de la silueta de la copa.

La proyección de la superficie de la copa de un árbol mantiene una relación directa con su área foliar y su biomasa; conocerla sería de gran relevancia para

el silvicultor o el plantador, ya que le permitiría estimar la calidad de una planta, con sólo medir la proyección de su copa.

El nivel de asociación entre la silueta de la copa y la biomasa de la planta difiere entre especies, debido a diversas causas, como son: a las diferencias en la configuración de la copa; al ángulo de inserción de las hojas, su orientación y forma; la distribución del follaje en la copa, la edad del arbolado; así como a la densidad y la proporción de ramas gruesas con respecto al follaje.

En varios trabajos se ha tratado de encontrar la conexión que existe del área foliar con otros parámetros fáciles de medir. Así, Jurik *et al.* (1985) compararon cuatro métodos para determinar el índice de área foliar en un bosque sucesional de hojosas; MacArthur y Horn (1969) utilizaron fotografías panorámicas para definir el grado de cobertura de un rodal, como una alternativa para estimar el mismo índice. Otra opción más sofisticada son las técnicas de percepción remota, que usan el grado de longitud de onda interceptado por el follaje (Jordan, 1969).

El objetivo del presente estudio fue establecer la relación entre la silueta de la copa y el tallo de plantas jóvenes de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh con el área foliar y la biomasa de la parte aérea.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el vivero del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, ubicado entre los 19° 29' latitud norte y los 98° 4' longitud oeste, a una altitud de 2250 m. En este vivero existe una plantación de eucalipto de siete años de edad, establecida en 1994 (Ortega, 1994), y conformada por seis especies de eucalipto: *Eucalyptus botryoides* Sm., *E. dunnii* Maid., *E. gomhocephala* D. C., *E. pauciflora* Siebr. ex Sprengel, *E. camaldulensis* y *Eucalyptus* sp. Cada año se han podado los árboles para mantenerlos con una altura promedio de 5.0 m.

La selección de los ejemplares se realizó de manera dirigida a individuos de la especie *E. camaldulensis*, con una altura, forma de copa y ramas de tamaño similar. Debido a que se disponía de las ramas de las podas que se aplicaron a una plantación establecida en 1985 en el área del Colegio, se decidió utilizarlas para simular plantas entre 3 y 6 meses de edad, que es el tamaño aproximado en el momento de la plantación. Se seleccionaron 25 ramas (una por cada árbol) de diversos tamaños, cuidando que tuvieran diferente forma y follaje.

Procedimiento para obtener la silueta

De cada rama se tomó una fotografía blanco y negro (película Kodak x Pan 100 ASA) con fondo blanco para resaltar la silueta de las ramas. Además se colocó

una escala de referencia para representar el tamaño en centímetros y un número de control, de modo que se tuviera la dimensión proporcional de la imagen y, por lo tanto, el área que representa la silueta proyectada. Para este proceso se utilizó una cámara fotográfica marca Nikon FG con un lente zoom 28-30 mm y filtro polarizado para evitar los reflejos por efecto de la luz.

En cada toma se conservó la misma distancia entre la cámara y las ramas, la cual se acomodó de forma paralela al plano negativo de la película (Figura 1); la silueta completa de la rama siempre quedó en el marco de la fotografía (Figura 2).



Figura 1. Posición de la rama con respecto a la película de la cámara al momento de tomar la fotografía.

Determinación del área foliar y biomasa de la rama

Con la fotografía de cada rama, se obtuvo el área foliar en un integrador LI-3100 Área Meter LI-COR. Para la producida por la silueta se utilizó un acetato y sobre éste se copió la misma al pasar a través del integrador. El área proyectada de las sombras de cada rama, se describe en la Figura 3. Con la escala y el área se calculó el área real; posteriormente, se determinó su biomasa total, que incluye hojas y ramillas. Cada rama se secó en una estufa de secado a 70°C durante 48 h, hasta alcanzar peso constante.

Análisis de la información

Mediante un análisis de regresión lineal simple se ajustó un modelo de la forma $Y = a + bX$, donde Y representó la biomasa y el área foliar como variables



Figura 2. Posición de las hojas en el cuadro de la fotografía, en la esquina inferior izquierda se ejemplifica la escala.

dependientes y X el área proyectada de las hojas como variable independiente; a y b son los parámetros por estimar; la decisión se tomó sobre la base de que las gráficas de dispersión de puntos demostraron que es el tipo de curva que mejor describe la vinculación entre área de proyección con el área foliar y la biomasa. Así, se generaron dos modelos: uno que define al área foliar en función del área proyectada y otro que determina la relación entre la biomasa total y el área proyectada. Los parámetros del modelo se obtuvieron por el método de mínimos cuadrados que se pueden calcular en una hoja de Excel (Microsoft 95).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 4 y 5 muestran los resultados del ajuste y la distribución de puntos para estimar las variables consideradas con base en la silueta proyectada de las ramas. Los datos estadísticos del ajuste de los modelos se reúnen en el Cuadro 1. Al mismo tiempo se graficaron los valores de los residuales contra los valores predichos para ver si había alguna evidencia de violación de los supuestos básicos del método de mínimos cuadrados. En la Figura 4 se observa que al calcular el área foliar a partir de la silueta de las hojas, se tiene un buen ajuste, con una $r^2 = 0.91$, y de acuerdo a la dispersión de residuales, no se advierten dificultades (Figura 6); en cambio, para predecir la biomasa por medio de la misma variable, se aprecia que el coeficiente de determinación es un poco menor que el obtenido para estimar área foliar, con un $r^2 = 0.834$ (Figura 5).

Cuadro 1. Resultado del análisis de regresión lineal, con el área foliar (AF) y la biomasa (B) como variables dependientes.

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R2
Variable dependiente área foliar (AF)						
Modelo	1	3178451.1	3178451.1	229.15	0.0001	0.90878
Error	23	319028.2	13870.8			
Total corregido	24	3497479.2				
		T for H0:	Pr > T			
Parámetro	Estimado	Parámetro = 0				
INTERCEPT	-121.5711425	-2.14	0.0430			
APF	2.7511025	15.14	0.0001			
Variable dependiente biomasa (B)						
Modelo	1	1185.3	1185.4	117.1	0.0001	0.8299
Error	24	242.9	10.1			
Total corregido	25	1428.3				
		T for H0:	Pr > T			
Parámetro	Estimado	Parámetro = 0				
B	0.04975	24.4	0.0001			



Figura 3. Ejemplo de la forma de tomar las fotografías de las ramas, con su número de control y la referencia de la escala.

Por otra parte, al graficar los valores residuales contra los valores estimados hay cierta tendencia de presentar problemas de heterogeneidad de varianzas asociadas al tamaño de las ramas (heteroscedasticidad) (figuras 6 y 7).

Es probable que el problema de heteroscedasticidad se deba principalmente a la distribución de las hojas en las ramas grandes, pues muchas de ellas quedan sobrepuestas unas con otras y, por lo tanto, muestran menor área que la real debido al tamaño de cada una; además, su tronco por lo general es grueso y en consecuencia su biomasa es mayor; en cambio las de tamaño pequeño por sí mismas reflejan el área que tienen porque contienen ramillas delgadas, aspecto que se asemeja mas a plántulas de tres a seis meses de edad. Para minimizar la heteroscedasticidad, se recomienda realizar regresiones por rangos de tamaños.

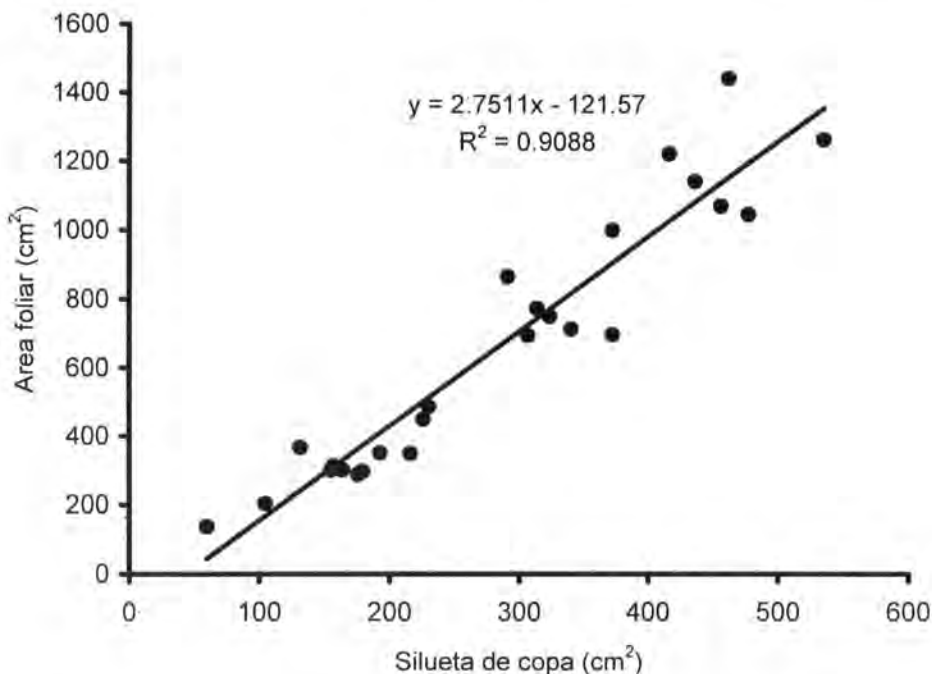


Figura 4. Dispersión de puntos y tendencia de la recta que relaciona el área proyectada de la silueta de las hojas con el área foliar.

Con base en los análisis realizados, se puede concluir que la técnica de fotografiar la silueta de las hojas de los árboles constituye un buen método alternativo para estimar área foliar y biomasa de plantas jóvenes. Representa una técnica fácil de aplicar, barata y eficiente. Sería conveniente probarla para efectuar estimaciones en árboles adultos; quizás la técnica tendría que modificarse por el tamaño de los individuos y para diferentes especies. Sin embargo de funcionar, sería de gran ayuda para hacer predicciones de biomasa y área foliar en rodales.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio muestran que la copa de las ramas tiene una alta correlación con el área foliar y con la cantidad de biomasa presente en ellas. Sin embargo existe una mayor asociación entre la silueta de las hojas con el área foliar.

Se aprecia cierto problema de heteroscedasticidad al ajustar el modelo lineal entre el área proyectada de las sombras de las hojas con la biomasa del árbol.

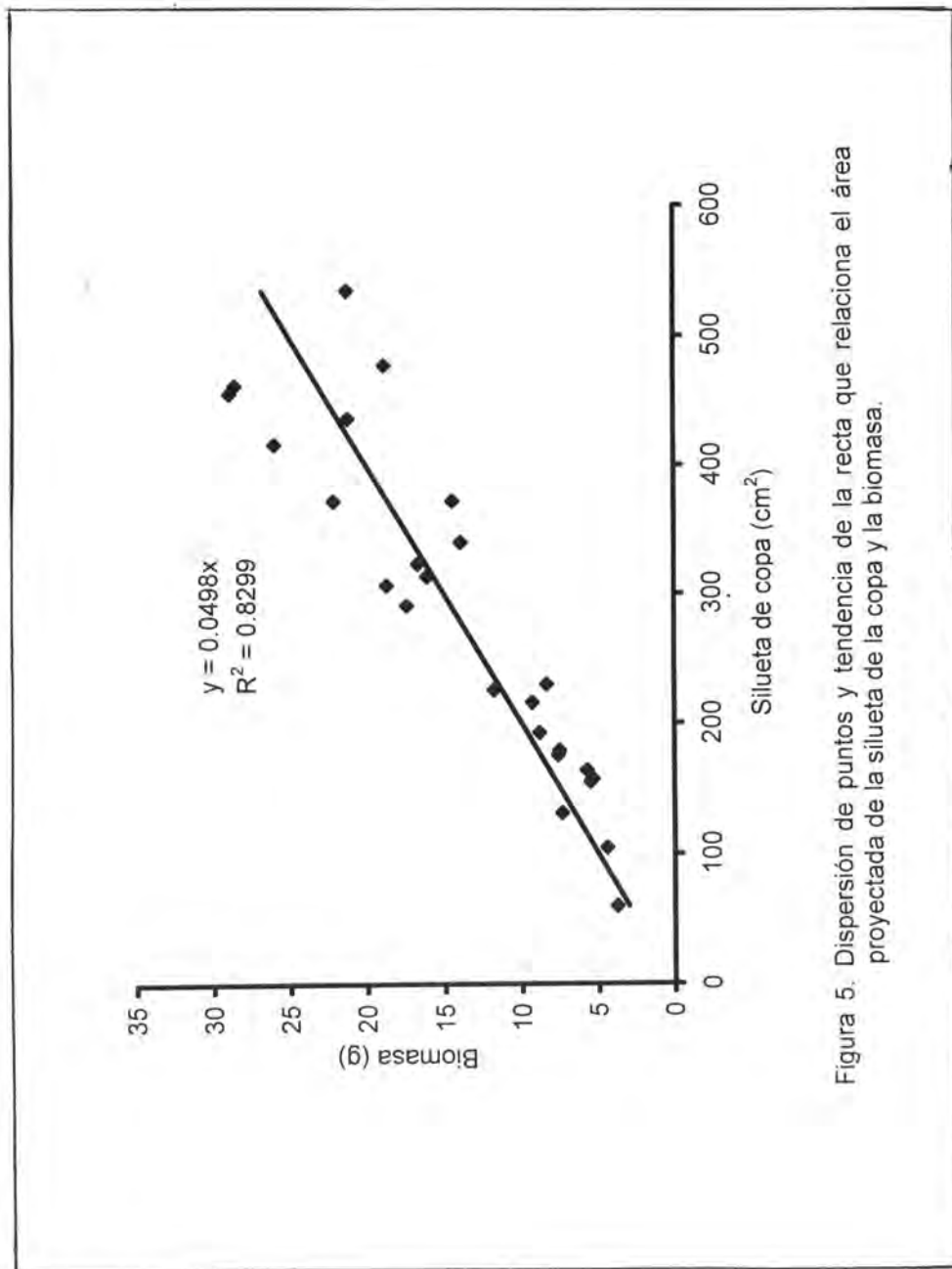


Figura 5. Dispersión de puntos y tendencia de la recta que relaciona el área proyectada de la silueta de la copa y la biomasa.

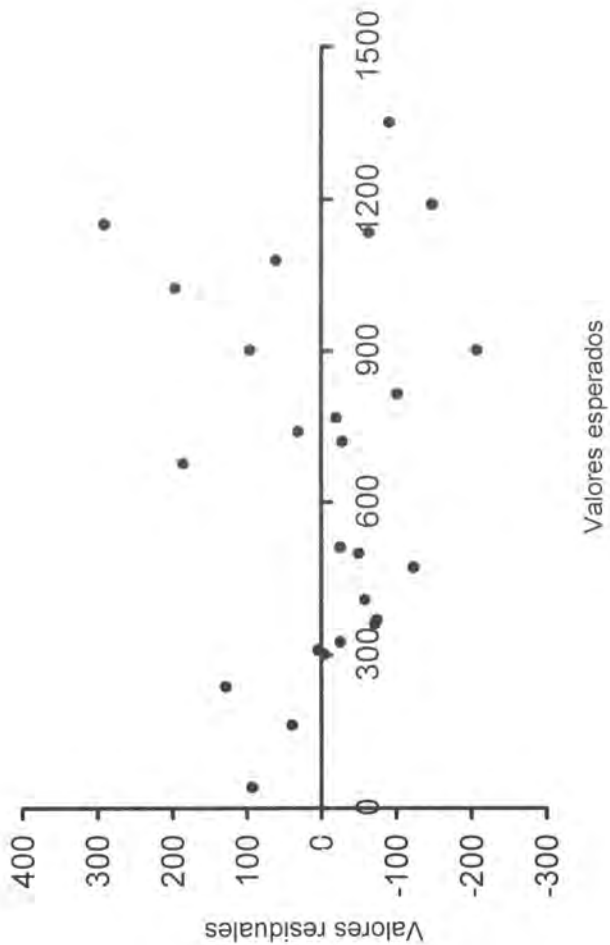


Figura 6. Dispersión de los residuales con respecto a valores esperados de acuerdo al análisis de regresión para estimar área foliar a partir de la silueta de las hojas.

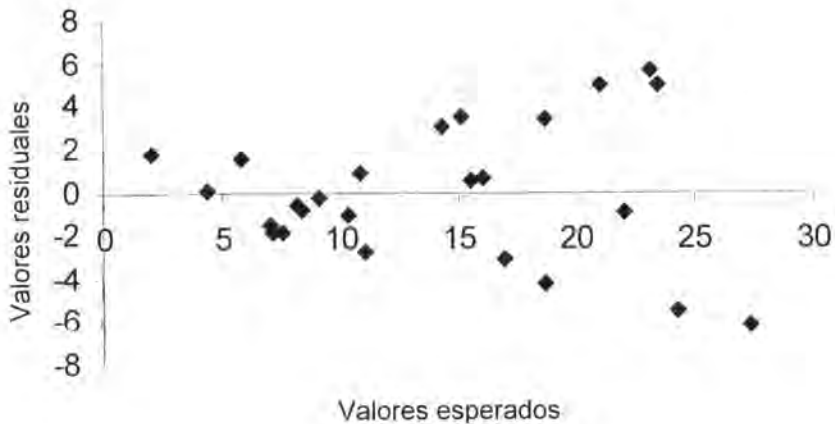


Figura 7. Dispersión de los valores residuales con respecto a los valores esperados de acuerdo al análisis de regresión para estimar la biomasa a partir de la silueta de las hojas.

La técnica de fotografiar la silueta de las hojas de los árboles, puede usarse como un método alternativo para estimar área foliar y biomasa.

REFERENCIAS

- Cano-Morales, E. E. 1993. Relación alométrica entre el área foliar y el área de la albura en *Pinus patula* Schl et Cham., en Zacatlán, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Programa Forestal. Montecillo, Edo. de México. 125 p.
- Chapman, J. W. and S. T. Gower. 1991. Aboveground production and canopy dynamics in sugar maple and red oak trees in southwestern Wisconsin. *Can. J. For. Res.* 21: 1533-1543.
- Espinosa-Bancalari, M. A., D. A. Perry and J. D. Marshall. 1987. Leaf area-sapwood area relationships in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. *Can. J. For. Res.* 17: 174-180.
- Geron, C. D. and G. A. Ruark. 1988. Comparison of constant and variable allometric ratios for predicting foliar biomass of various tree genera. *Can. J. For. Res.* 18(10):1298-1304.
- Grier, C. C. and R. H. Waring. 1974. Conifer foliage mass related to sapwood area. *For. Sci.* 38: 503-512.
- Huxley, J. S. 1932. Problems of relative growth. The Dial Press, New York. 276 p.
- Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* 50(5):663-666.

- Jurik, T. W., G. M. Briggs and D. M. Gates. 1985. A comparison of four methods for determining leaf area index in successional hardwood forests. *Can. J. For. Res.* 15: 1154-1158.
- MacArthur, R. H. and H. S. Horn. 1969. Foliage profile by vertical measurements. *Ecology* 50(5):802-804.
- Margolis, H., R. Oren, D. Whitehead and M. R. Kaufmann. 1995. Leaf area dynamics of conifer forests. *In*: Smith, W. K., and T. M. Hinckley [eds.] *Ecophysiology of coniferous forests*. Academic Press. pp 181-223
- Ortega C., C. 1994. Distribución de biomasa y relaciones hídricas en seis especies de *Eucalyptus* bajo dos condiciones de humedad del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 104 p.