

# COMPARACIÓN DE TRES MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE LA HOJA DE CAOBA, *Swietenia macrophylla* King EN VIVERO

## COMPARISON OF THREE METHODS OF ESTIMATION OF THE AREA OF THE SHEET OF MAHOGANY, *Swietenia macrophylla* King IN THE NURSERY

Vale-Montilla, César C. \*

Universidad de Los Andes -Venezuela

### Resumen

Los objetivos del presente trabajo fueron comparar la estimación del área de la hoja individual de *Swietenia macrophylla* King (caoba), utilizando tres métodos de cálculo de la misma. Se consideró como referencia valores de área lineal (AFLIN), obtenida mensualmente por medidas del largo y ancho máximo de las hojas, hasta los cuatro meses de edad de las plantas. Estos valores se compararon con medidas de cálculo de **área** de una elipse (AFELIP=  $ab\pi$ ), siendo a y b los semiejes mayor y menor de la elipse y con el método de cálculo de **área** de cada hoja en lámina milimetrada transparente (AFMIL). Para ello, la silueta de cada hoja se delimitó sobre esta lámina. Durante las primeras fases del desarrollo en vivero, se tomaron 150 muestras de hojas de diferentes edades, provenientes de plantas de un diseño completamente al azar. Con el área obtenida por los tres métodos, se realizó un análisis de varianza, resultando diferencias altamente significativas entre los métodos, indicando que los métodos por área milimetrada y el método de la elipse, presentan diferencias altamente significativas con las medidas lineales de largo por ancho de la hoja. Se observaron altas correlaciones positivas ( $r > 0,98$ ), altamente significativas ( $p < 0,0001$ ), indicando asociaciones lineales directas entre los tres métodos. El método más preciso de estimación del área foliar es AFMIL, ya que evalúa de manera real el área foliar.

**Palabras clave:** Área foliar, *Swietenia macrophylla*, ANOVA, relaciones funcionales.

### Abstracts

The objectives of this study were to compare the estimate of the area of the individual sheet of *Swietenia macrophylla* King (mahogany), using three methods of calculation of the same. It was considered as reference values of linear area (AFLIN), monthly obtained by measurements of the length and maximum width of leaves, up to four months of age of the plants. These values were compared with measurements of calculating area of an ellipse AFELIP =  $ab\pi$ , being a and b shafts greater and lesser of the ellipse and the method of calculation of the area of each worksheet in millimeter blade transparent (AFMIL). To do this, the silhouette of each leaf is delimited on this sheet. During the early stages of development in the nursery, sampled 150 of leaves of different ages, from plants of a completely randomized design. With the area obtained by the three methods, was carried out an analysis of variance, resulting in highly significant differences between methods, indicating that methods by millimeter area and method of ellipse, show highly significant differences with linear measures of length and width of the sheet. High positive correlations ( $r > 0.98$ ), were highly significant ( $p > 0.0001$ ), indicating direct linear association between the three methods. The most accurate method of estimation of leaf area is AFMIL, since it assesses in real way leaf area.

**Key words:** Leaf Area, *Swietenia macrophylla*, ANOVA, correlation.

**Recibido:** 16/05/2017 - **Aprobado:** 10/04/2018

\*Ingeniero Forestal, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela. Msc. en Entomología, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Caracas, Venezuela. Investigador del Centro de Investigaciones Agrícolas, Biológicas, Educativas y Sociales (CIABES), CP 3150. Asesor de 20 tesis de pregrado. Línea de investigación: Entomología, Análisis de crecimiento de plantas.

## Introducción

La determinación del área foliar es fundamental en estudios de nutrición y crecimiento vegetal, con ésta se puede determinar la acumulación de materia seca, el metabolismo de carbohidratos, el rendimiento y calidad de la cosecha. Es una medida necesaria para evaluar la intensidad de asimilación de las plantas, parámetro de gran relevancia para el análisis de crecimiento de un cultivo. Para aplicar las técnicas de análisis de crecimiento en plantas se requiere medidas de la cantidad de material seco (peso seco) y del área foliar de las plantas, y a partir de ellas se pueden calcular los diferentes parámetros de un análisis de crecimiento sencillo (Bugarin, Spinola, García y Paredes, 2002).

Se han desarrollado diversos métodos para medir o estimar el área de las hojas individuales, como base para obtener el AF total de una planta. Estos métodos se clasifican en destructivos y no destructivos. Los primeros (directos), son aquellos que requieren desprender las hojas de la planta. Los no destructivos o indirectos, no requieren el desprendimiento de las hojas, sino que, permiten estimar el AF, con alto grado de aproximación (Álvarez, Álvarez, Cano y Suescún, 2012; Brito, Romero, Casen, Alonso y Digonzelli., 2007).

Con las variables, largo (L) y ancho (W) de la hoja, consideradas independientes y, área real foliar (AR), como variable dependiente, se trata de encontrar, mediante correlaciones y regresiones estadísticas, la ecuación que presenta el mejor ajuste. (Rojas y Seminario, 2014).

También existen diversos procedimientos digitales para la determinación del área foliar, desde planímetros ópticos y cámaras digitales, hasta métodos de laboratorio que utilizan

el planímetro mecánico, escáner y cámaras fotográficas (Newton et al., (2013); Rincón Olarte y Pérez (2012).

Lo anterior indica que las relaciones matemáticas entre variables biométricas permiten evaluar la posibilidad de uso de modelos estadísticos para estimar el área foliar con elevado grado de precisión. De esos intentos han resultado relaciones sencillas como el caso de Sousa (2009), quien realizó un estudio comparativo entre diferentes modelos matemáticos para la estimación del área foliar de cinco especies forestales (*Amburana cearensis*, *Caesalpinia ferrea*, *Caesalpinia pyramidalis*, *Schinopsis brasiliensis* y *Tabebuia aurea*), tomando como referencia valores obtenidos por proceso de digitalización y procesamiento de imágenes.

Igualmente, Jerez, Martín y Díaz (2014) para estimar la superficie foliar de papa (*Solanum tuberosum* L.) utilizaron un método no destructivo, cuyo objetivo consistió en determinar una función matemática a partir de las medidas lineales de las hojas y la determinación de la superficie foliar real de la hoja con el empleo de un integrador de superficie foliar AM300. A partir de estas variables se establecieron regresiones lineales con los valores obtenidos. Rojas y Seminario (2014), para estimar el área foliar de “valeriana” (*Valeriana pilosa* Ruiz & Pav.) en estado silvestre, dibujaron las siluetas de las hojas frescas, sobre papel y en ellas midieron el largo y el ancho mayor de la lámina. El área real de la lámina foliar la determinaron con planímetro.

Para estudiar las primeras etapas de crecimiento de las plantas, las investigaciones se pueden realizar a nivel de vivero, en condiciones medianamente controladas y, a nivel de campo (condiciones naturales). En investigaciones a nivel de

vivero para determinación del área foliar, Calderón, Calderón, Fundora y Jerez (2011), investigaron sobre *Pouteria sapota* (Jaccq). Asimismo, Calderón, Soto, Calderón y Fundora (2009) estimaron el área foliar en plántulas de mango (*Mangifera indica* L.) y aguacatero (*Persea* spp). Senilliani et al., (2015) con *Prosopis alba* y *Parkinsonia praecox* en vivero y la relación entre morfología y sobrevivencia inicial de estas especies en plantación a campo abierto. Los autores Cabezas, Peña, Duarte, Colorado y Lora (2009), con aliso (*Alnus acuminata* H.B.K), mangle (*Escallonia pendula* Pers.) y roble (*Quercus humboldtii* Bompland), en condiciones de campo, compararon la eficacia de los modelos lineales y su posterior validación en campo, a partir de un nuevo conjunto de datos.

*S. macrophylla* es una especie que presenta dimorfismo foliar. A los 20 días de germinación, se inicia el desarrollo de raíces laterales. La brotación completa de la plúmula se efectúa varios días después, cuando se diferencian las primeras hojas simples. Simultáneamente, la radícula desarrolla raíces secundarias, terminando la fase de germinación. Las plántulas continúan creciendo y desarrollan nuevas hojas que proveen los nutrientes necesarios. A los 70 días de desarrollo, aun se observan hojas simples, sin desarrollo de hojas compuestas, características en posteriores etapas. La primera hoja compuesta aparece después de los 75 días (Niembro, 2010; Alvarenga y Flores, 1988).

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de establecer comparaciones entre tres métodos de determinación del área foliar en plántulas de caoba en las primeras fases del desarrollo (1 – 4 meses), basados en el largo y ancho de la lámina foliar. Un segundo objetivo consistió en el establecimiento de correlaciones entre los métodos. La

determinación del área de las hojas o folíolos individuales, permitirá el cálculo del área foliar total de la planta.

### **Materiales y métodos**

Esta investigación se desarrolló mayoritariamente en hojas simples, ya que la toma de muestras de la parte aérea en etapa de vivero para análisis de crecimiento, indicó que las plántulas de *S. macrophylla* (caoba) en las primeras etapas de desarrollo, presentan dimorfismo foliar, es decir durante los primeros 70 – 90 días de edad presenta hojas simples y a partir de esta edad comienza la aparición de hojas compuestas. Solo algunas plantas con 90 días de edad presentaron hojas compuestas, con 2 folíolos. A 120 días de edad de las plantas, pocas de ellas presentaron hojas compuestas, tomando muestras de folíolos de hojas simples y de hojas compuestas. Cada hoja compuesta tenía 2 – 4 folíolos, evaluado la totalidad de ellos <sup>1</sup>(observación personal).

El trabajo se realizó entre los meses de junio y noviembre de 2016, en un vivero artesanal ubicado en la ciudad de Trujillo, Venezuela, con la finalidad de realizar análisis de crecimiento de las plantas durante las primeras etapas de desarrollo (1 – 4 meses). El total de plantas de la especie *S. macrophylla* fue de 150, permaneciendo en vivero por 5 meses, desde la siembra de semilla. Cada planta tenía una identificación numérica. El análisis se realizó en cuatro muestreos destructivos de plantas, evaluando 15 plantas por muestreo mensual, seleccionando por sorteo el número de identificación de cada planta a analizar. El primer muestreo se realizó a 45 días después de la siembra de la semilla, en plantas de 30 días de edad (el proceso de germinación fue de 15 días) y a partir de aquí, se hicieron muestreos destructivos cada 30 días, teniendo como parámetros específicos

para la determinación del área foliar, el largo y ancho de cada hoja o foliolo, ubicados en el tercio superior de cada planta muestreada. Se realizaron mediciones en 150 hojas o foliolos, a razón de 35 - 40 hojas o foliolos por muestreo. Las mismas hojas o foliolos se utilizaron en cada uno de los métodos evaluados.

Los métodos utilizados para el cálculo del área de las hojas fueron:

*Método del área utilizando largo y ancho máximo de la hoja (AFLIN).* Estimación del área considerando una superficie determinada entre el largo y ancho máximo de cada hoja ( $AFLIN=L*A$ ). El área delimitada se corresponde con una figura rectangular.

*Método del área foliar mediante la elipse (AFELIP).* Se mide el largo y ancho máximo de cada hoja para calcular los semiejes de la elipse, dividiendo cada parámetro entre dos y luego se aplica la fórmula del área de una elipse ( $AFELIP=\pi a b$ ), siendo a y b los semiejes mayor y menor de la elipse. De esta manera, el área delimitada por una elipse se obtiene como producto del semieje mayor por el semieje menor, multiplicados por  $\pi$ .

*Método de área foliar milimetrada (AFMIL).* Se coloca sobre la hoja de caoba a medir una lámina de papel milimetrado transparente y se trazan sus contornos. En el papel milimetrado se tienen cuadrados de 1 mm de lado, otros de 5 mm y otros de 10 mm = 1 cm de lado. Se empieza contando los cuadrados grandes (1 cm de lado) que quedan cubiertos por completo por la hoja de caoba que se evalúa. Para facilitar la cuenta, se remarca la región que forman los cuadrados que se van a contar. Luego se cuentan los cuadrados de 5 mm de lado, que quedan fuera de este polígono pero que están dentro de la hoja de caoba que se mide. Cada uno

de estos cuadrados tiene un área de 25 mm<sup>2</sup>, por lo que, para hallar el área en milímetros cuadrados, se multiplica por 25 el número de cuadrados contados. Luego se hace un cálculo aproximado del área faltante con los cuadraditos de 1 mm de lado que cubre la figura que queden fuera de los polígonos ya contados. Para ello, se sigue el contorno del polígono, contando los mm<sup>2</sup> ocupados por la figura en cada cuadrado de 5 mm. Este método se considera más real y preciso que los anteriores, ya que el área delimitada se circunscribe a la superficie real de cada hoja o foliolo.

### **Análisis de los datos.**

El análisis estadístico de los datos se hizo con SAS®, versión 9.1, utilizando un valor de Alpha = 0,05 %. Para la estadística descriptiva se utilizó el procedimiento UNIVARIATE, que incluye pruebas estadísticas y valores de “p”, para Shapiro – Wilk (para tamaños de muestra < 2000), además de las pruebas Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises y Anderson-Darling. Para verificar el supuesto de homogeneidad del análisis de varianzas se hizo la prueba de Levene, Brown y Forsythe, utilizando el procedimiento GLM.

El análisis de varianza se realizó con el procedimiento ANOVA, transformando los datos mediante LOG (area+10). Para la separación de medias, se utilizó la prueba de Duncan. Para establecer el grado de asociación entre los métodos se utilizó el procedimiento CORR, con el coeficiente de Pearson y los datos transformados al LOG (area+10).

## **Resultados y discusión**

### **Estadística descriptiva**

Los valores promedio del área de las hojas durante su permanencia en vivero, vario según el método de muestreo. Por

**Cuadro 1**  
Parámetros estadísticos de los datos originales de los tres métodos de determinación del **área foliar de caoba**

Métodos	Parámetros estadísticos					
	Media	Desviacion Standard	CV (%)	Varianza	Skewness	Kurtosis
AFLIN	38,4	20,3	52,8	411,5	1,32	3,25
AFELIP	30,2	15,9	52,8	253,9	1,32	3,25
AFMIL	27,1	14,0	51,7	196,2	1,22	2,70

AFLIN: área foliar largo por ancho de la hoja; AFELIP: área foliar por elipse; AFMIL: área foliar milimétrica

**Cuadro 2**  
Distribución de los cuantiles de los datos originales de los tres métodos de determinación del **área foliar de caoba**

Método	Cuantiles		
	75 % Q3	50 % Mediana	25 % Q1
AFLIN	49,5	36,0	21,0
AFLIP	38,9	28,3	16,5
AFMIL	35,0	26,5	16,0

AFLIN: área foliar largo por ancho de la hoja; AFELIP: área foliar por elipse; AFMIL: área foliar milimétrica

ejemplo, con el método AFLIN resulto 38,4 cm<sup>2</sup>, mientras que para AFMIL de 27,1 cm<sup>2</sup>. Esto indica que la figura rectangular que se origina por el método AFLIN, sobrestima en un 42 % el área de las hojas y AFELIP, que origina una elipse, se obtuvo un promedio de 30,2 %, sobrestimando el área de las hojas en 11 %, con respecto al método milimetrado (AFMIL). Los datos originales también presentan cierta asimetría positiva notoria, lo que indica que los valores de área foliar se concentran hacia la cola derecha (valores pequeños, cercanos a la media) y, kurtosis positiva para AFLIN y AFELIP, cuyos valores de la kurtosis son mayores que 3, lo que indica un exceso de valores cercanos a la media (Cuadro 1). Para AFMIL, resulta un valor menor a 3, indicando una curva con la parte superior más plana que la normal. Un valor igual a 3, significa que los datos

tienen distribución normal, o mesokurtica. Será mayor que 3, en las distribuciones de frecuencias leptokurticas, o sea, más alargadas y agudas que la normal (Snedecor y Cochran, 1982).

En los datos de AFLIN, el 75 % de las hojas presento áreas menores de 49,5 cm<sup>2</sup>, en contraste con AFMIL con valor de 35 cm<sup>2</sup>. Para ambos métodos, el 50 % de las mediciones estuvo por debajo de 36 y 26,5 cm<sup>2</sup>, respectivamente (Cuadro 2).

### Prueba de normalidad

Las pruebas de normalidad para los datos originales de los tres métodos, indicaron que no existe normalidad en ellos. No se logró su normalización, a pesar de utilizar diferentes transformaciones, entre raíces cuadradas y logarítmicas (Steel y Torrie, 1985). La transformación

**Cuadro 3**

Resultados de las pruebas de normalidad de los datos originales y transformados (LOG (area+10)) de los tres métodos de determinación del área foliar de caoba (valores p)

Métodos	Pruebas	Valor p* (Datos originales)	Valor p* (Datos transformados)
AFLIN	Shapiro-Wilk	< 0.0001	0,0031
	Kolmogorov-Smirnov	< 0.01	< 0,01
	Cramer-von Mises	< 0.005	< 0,005
	Anderson-Darling	< 0.005	< 0,005
AFELIP	Shapiro-Wilk	< 0.0001	0.0048
	Kolmogorov-Smirnov	< 0.01	< 0,01
	Cramer-von Mises	< 0.005	< 0,005
	Anderson-Darling	< 0.005	< 0,005
AFMIL	Shapiro-Wilk	< 0.0001	0.0122
	Kolmogorov-Smirnov	< 0.01	< 0,01
	Cramer-von Mises	< 0.005	< 0,005
	Anderson-Darling	< 0.005	< 0,005
* Nivel de significancia: 5 %; AFLIN: área foliar largo por ancho de la hoja; AFELIP: área foliar por elipse; AFMIL: área foliar milimétrica			

LOG (area+10) logro presentar datos más normales para las diferentes pruebas de normalidad. Por ejemplo, en la prueba de Shapiro – Wilk se observa que la normalidad aumenta desde valores de  $p < 0,0001$ , hasta valores de  $p$  comprendidos entre  $p = 0.0122$ , para datos del método milimetrado, hasta  $p = 0.0048$ , en datos del método de la elipse (Cuadro 3).

Según Díaz (1999), el alejamiento de la normalidad lo dan, generalmente, los valores extremos, muy grandes o muy pequeños comparados con el resto. Esta puede ser la causa en el presente trabajo, ya que, durante el crecimiento de las plantas, las hojas presentan valores de área foliar bajos en las primeras etapas del desarrollo (1 – 2 meses de edad) y valores mayores en etapas posteriores (> 3 meses de edad), valores considerados dentro de la lógica del crecimiento. Sin embargo, las desviaciones del supuesto de normalidad no afectan

seriamente la validez del análisis varianza (Little y Hills, 1981; Sokal y Rohlf, 1979). Según Montgomery (1991), cuando las muestras son pequeñas a menudo ocurren fluctuaciones considerables, por lo que una desviación moderada aparente de la normalidad, no necesariamente implica una violación seria a las suposiciones de la normalidad. Para el modelo I, la falta de normalidad en los datos afecta muy poco la significancia de la prueba F, siempre que la desviación no sea extrema (Díaz, 1999). Solo una distribución muy asimétrica tendría un efecto marcado en la prueba F o sobre la eficacia del diseño. Algunos autores indican que, con la no normalidad en los errores, la verdadera probabilidad correspondiente al nivel de significancia de 0,01 de la tabla F, puede estar situado entre el 0,005 y el 0,02 y la probabilidad verdadera correspondiente a  $\alpha = 0,05$  puede estar entre el 0,04 y el 0,07 (Steel y Torrie, 1985).



**Cuadro 4**

Pruebas para la homogeneidad de varianza de la transformada del área foliar (LOG (area+10))

Prueba	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Levene	Métodos	2	0,0774	0,0387	0,80	0,4492 <sup>NS</sup>
	Error	447	329,4	0,7369		
Brown y Forsythe	Métodos	2	0,0652	0,0326	0,64	0,5299 <sup>NS</sup>
	Error	447	22,92	0,0513		

<sup>NS</sup>No significativo al nivel de 5 %**Prueba de homogeneidad de la varianza.**

Para establecer homogeneidad de varianzas, los datos se transformaron al LOG (area+10). En los resultados, las pruebas de Levene, Brown y Forsythe, no son significativas. (Levene:  $F_{2,447} = 0,80$ ,  $p = 0,4492$ ; Brown y Forsythe:  $F_{2,447} = 0,64$ ,  $p = 0,5299$ ), por tanto, las varianzas son iguales para las dos pruebas y el análisis de varianza se puede realizar, ya que asume homogeneidad de varianzas (Cuadro 4).

En estadística, se utilizan varias pruebas para verificar si k muestras provienen de poblaciones con la misma varianza. Algunas pruebas estadísticas, por ejemplo, el análisis de la varianza (ANOVA), suponen que las varianzas son iguales en todos los grupos o muestras. Se utilizan varias pruebas para verificar esa suposición. Entre ellas, la prueba de Bartlett es sensible a las desviaciones de la normalidad, particularmente a la kurtosis. Un resultado significativo de esta prueba podría indicar falta de normalidad en vez de heterogeneidad de las varianzas (Díaz, 1999). Es decir, si las muestras provienen de distribuciones no normales, entonces la prueba de Bartlett puede ser simplemente para probar la no normalidad (Montgomery, 1991; Steel y Torrie, 1985). Por esta razón, es conveniente no utilizar la prueba de Bartlett donde no exista normalidad en los datos. La Prueba de Levene y la prueba de

Brown-Forsythe son alternativas a la prueba de Bartlett que son menos sensibles a las desviaciones de la normalidad (SAS, 2003).

**Análisis de varianza**

Una vez que en el apartado anterior se demostró el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de la varianza, entonces ahora procedemos a aplicar el ANOVA y en caso de resultar diferencia significativa aplicaremos la prueba de Duncan para determinar el método o métodos que marcan la diferencia en la determinación de área foliar.

El análisis de varianza para la transformada del área foliar, LOG(area+10), indica que el modelo aplicado altamente significativa la diferencia entre los promedios de las áreas foliar para los tres métodos de medición, con un nivel del 5%. (Cuadro 5).

Los resultados de la comparación de medias por Duncan, se muestran en el Cuadro 6, donde se observa que el método de determinación de área que utiliza las medidas lineales de largo por ancho de la hoja (AFLIN), presenta diferencias altamente significativas con los otros dos métodos (AFELIP y AFMIL), es decir los métodos de cálculo mediante la elipse y el método de determinación del área milimetrada.

**Cuadro 5**

Análisis de varianza de la transformada del área foliar, LOG(area+10)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	2	5,0322	2,5161	16,72	< 0,0001**
Error	447	67,2871	0,1505		
Total	449	72,3194			
	R <sup>2</sup>	CV (%)	Root MSE	Media	
	0,0695	10,61	0,3879	3,6550	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados Tipo I	Cuadrados medios	F	Pr > F
Método	2	5,0322	2,5161	16,72	< 0,0001**

\*\*Altamente significativo

**Cuadro 6**

Separación de medias por Duncan para los tres métodos de determinación de área foliar

Alpha = 0,05	GL error= 447		CME= 0,1505	
Numero medias	2		3	
Rango critico	0,08805		0,09269	
Agrupamiento por Duncan (*)	Media (datos reales)	Media (LOG (area+10))	N	Método
A	38.4	3,79	150	AFLIN
B	30.2	3,62	150	AFELIP
B	27.1	3,54	150	AFMIL

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Estos resultados indican que el método lineal presenta una sobrestimación del área de la hoja, presentando una media de 38.4 cm<sup>2</sup>, valores que contrastan con las medias de la elipse y la milimetrada (30.2 y 27.1 cm<sup>2</sup>, respectivamente), lo cual indica que ambos métodos son igualmente válidos para la estimación del área foliar de plantas de caoba en vivero, ya que no difieren significativamente.

### **Análisis de Correlación entre los métodos**

La tendencia de los tres métodos de medición del área foliar a estar relacionados o para indicar la estrechez o intensidad de la asociación entre ellos, se muestra en el Cuadro 7. En el cuadro se describe la distribución conjunta de los tres métodos. La medida definida de la estrechez de la asociación la aportan los coeficientes de correlación entre ellos, así como la significación estadística. Se observan altas correlaciones positivas, altamente significativas ( $p < 0,0001$ ), indicando asociaciones lineales directas y



**Cuadro 7**

Coefficientes de correlación de Pearson del Análisis de correlación entre los tres métodos de determinación del área foliar de caoba (N = 150; Prob > |r| bajo H0: Rho=0)

	Métodos de determinación de área foliar		
	AFLIN	AFELIP	AFMIL
AFLIN		0,99975 < 0,0001	0,98934 < 0,0001
AFELIP			0,99022 < 0,0001
AFMIL			

AFLIN: área foliar largo por ancho de la hoja; AFELIP: área foliar por elipse; AFMIL: área foliar milimétrica

sugiriendo la formación de líneas rectas entre los tres métodos.

**Conclusiones**

El conocimiento del área total de hojas de *Swietenia macrophylla* King (caoba) en vivero, es determinante en el cálculo de la eficiencia fotosintética de las plantas y puede ser utilizado en la predicción de la calidad de planta para llevar a plantación.

Entre los métodos de medición se presentaron diferencias altamente significativas (p < 0,0001). Se observa que el método de determinación de área por medidas lineales de largo por ancho de la hoja (AFLIN), presenta diferencias altamente significativas con los otros dos métodos (AFELIP y AFMIL), es decir los métodos de cálculo por elipse y el método de determinación del área milimetrada, lo que significa que ambos métodos se pueden utilizar para estimar el área de hoja individual de las plantas de caoba.

**Referencias bibliográficas:**

Álvarez Y, Álvarez E, Cano J y Suescún, D. 2012. Modelo matemático para estimar área foliar en árboles del bosque tropical seco en el caribe colombiano. *Rev. Intropica*, 7: 69-79.

Brito E, Romero E, Casen S, Alonso L y Digonzelli P. 2007. Métodos no

destructivos de estimación del área foliar por tallo en la variedad LCP 85-384 de caña de azúcar. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*, 84 (2): 29- 32.

Bugarin M, Spinola A, García, P y Paredes D. 2002. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. *Terra* 20: 401-409.

Cabezas M, Peña F, Duarte H, Colorado J y Lora R. 2009. Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 12 (1): 121-130.

Calderón A., Calderón M, Fundora L y Jerez E. 2011. Estimación de área foliar en posturas de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq)) en fase de vivero, a partir de las medidas lineales de las hojas. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. Cultivos tropicales*, 32 (2): 30-34.

Calderón A, Soto F, Calderón M y Fundora, L.R. 2009. Estimación de área foliar en posturas de mango (*Mangifera indica* L.) y aguacatero (*Persea spp*) en fase de vivero a partir de las medidas lineales de las hojas. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. Cultivos Tropicales*, 30 (1): 43-48.

Díaz A. 1999. *Diseño estadístico de experimentos*. Primera edición.

- Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 347 p.
- Jerez E, Martín R y Díaz Y. 2014. Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) por métodos no destructivos. *Cultivos Tropicales*, 35 (1): 57-61.
- Little T. y Hills F. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Tercera reimpression. Editorial Trillas, México. 270 p.
- Montgomery D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. México. 589 p.
- Newton T, Marchese J, Fernández A., Curti G, Fogolari H y Dos Santos V. 2013. Uso do software Image J na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. *Interciencia*, 38 (12).
- Rincón N, Olarte M y Pérez J. 2012. Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 65(1): 6399-6405.
- Rojas J, Seminario J. 2014. Método alométrico para estimar el área foliar de “valeriana” (*Valeriana pilosa* Ruiz & Pav.) al estado silvestre. Programa de Raíces y Tubérculos Andinos Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. *Arnaldoa* 21 (2): 305 - 316.
- SAS Institute Inc. 2003. SAS/STAT Guide for Personal Computers, versión 9.1, Estados Unidos.
- Senilliani M, Acosta M, Cisterna, S, Álvarez P, Guzmán A, Oliet, J y Brassiolo M. 2015. Parámetros morfológicos en la producción de algarrobo y brea en vivero. V Jornadas Forestales de Santiago del Estero, Santiago del Estero, 13 y 14 de agosto 2015.
- Snedecor G. y Cochran W. 1982. Métodos estadísticos. Novena impresión, Editorial Continental, México. 703 p.
- Sokal R. y Rohlf F. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Primera edición. H. Blue Ediciones. Madrid, España. 832 p.
- Souza A. 2009. Avaliação da área foliar de cinco espécies florestais ocorrentes no semiárido paraibano. Monografía apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos/PB, para a obtenção do Grau de Engenheiro Florestal. Universidade Federal de Campina Grandecentro de Saúde E Tecnologia Rural unidade Acadêmica de Engenharia Florestal campus de Patos-Pb.
- Steel R. y Torrie J. 1985. *Bioestadística. Principios y procedimientos*. Segunda edición, Editorial McGraw – Hill Latinoamericana, Bogotá, Colombia. 622 p.