

ESTIMACIÓN DE ÁREA FOLIAR EN PLÁNTULAS DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) EN CONDICIONES DE VIVERO A PARTIR DE LAS MEDIDAS LINEALES

ESTIMATION OF AREA LEAF IN SEEDLINGS OF MAHOGANY (*Swietenia macrophylla* King) IN TERMS OF NURSERY FROM THE LINEAR MEASURES

Vale-Montilla, César C.¹

Universidad de Los Andes, Núcleo Universitario Rafael Rangel, Centro de Investigaciones Agrícolas, Biológicas, Educativas y Sociales (CIABES), CP 3150. Trujillo, Venezuela

Resumen

Se determinaron métodos no destructivos para estimar el área de foliolo en plántulas de caoba, *Swietenia macrophylla* King en las primeras etapas del desarrollo, utilizando las medidas lineales de los foliolos, hasta su permanencia en vivero. El primer muestreo fue a los 30 días de edad de las plantas, y a partir de esta edad, muestreos de frecuencia mensual, garantizando foliolos de distintas edades y tamaños. En total, se hicieron cuatro muestreos y se tomaron 200 muestras aleatorizadas de foliolos, a razón de 50 foliolos por muestreo. Los foliolos se colocaron sobre papel milimetrado, midiendo largo (L) y ancho mayor (A) de la lámina foliar, junto con el área real milimetrada de cada foliolo. Con el área real y los valores de largo (L), ancho (A), largo al cuadrado (L^2), ancho al cuadrado (A^2), largo por ancho ($L \cdot A$) y el cociente largo/ancho (L/A), se realizó un análisis de correlación y regresión. Se hicieron regresiones simples con cada variable y regresiones Stepwise hasta encontrar en todos los casos, la ecuación de mayor ajuste (r y R^2 más altos). En las regresiones simples se lograron relaciones de moderadas a fuertes entre las variables, destacándose la regresión de la superficie foliar con el producto de largo por ancho de los foliolos ($L \cdot A$), resultando estadísticamente significativa ($p < 0,0001$) y alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0,98$). La regresión Stepwise selecciono las variables $L \cdot A$ ($p < 0,0001$) y ancho del foliolo (A), con $p = 0,0142$ ($R^2 = 0,98$).

Palabras clave: *Swietenia macrophylla* King, caoba, área foliar, correlación, regresión.

Abstract

Determined non-destructive methods to estimate the area of leaflets in seedlings of mahogany, *Swietenia macrophylla* King in the early stages of development, using the linear measures of the leaflets, on samples of monthly frequency, until their permanence in the nursery. The first sampling was at 30 days of age of the plants, and from this age, sampling frequency monthly, ensuring leaflets of different ages and sizes. In total, four samplings were made and samples 200 randomized of leaflets, at the rate of 50 leaflets by sampling. The leaflets were placed on graph, measuring long paper (L) and larger width (A) leaf blade, along with the actual millimeter area of each leaflet. With the actual area and long values (L), width (A), long (L^2), width (A^2) squared square, long by wide ($L \cdot A$) and the length/width ratio (L/A), was made the correlation and regression analysis. Made simple with each variable regression and regression Stepwise until you find in all cases, the equation of higher adjustment (highest r and R^2). In the simple regressions were relations of moderate to strong between the variables, emphasizing regression of the leaf surface with the product of length by width of leaflets ($L \cdot A$), being statistically significant ($P > 0,0001$) and high determination coefficient ($R^2 = 0,98$). The Stepwise regression to select the variable $L \cdot A$ ($P > 0,0001$) and width (A) leaflet, with $P = 0,0142$ ($R^2 = 0,98$).

Key words: *Swietenia macrophylla* King, mahogany, area leaf, correlation, regression analysis.

Recibido: 16/05/2017 - **Aprobado:** 06/11/2017

¹ Ingeniero Forestal, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela. Msc. en Entomología, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Caracas, Venezuela. Asesor de 20 tesis de pregrado. Línea de investigación: Entomología, Análisis de crecimiento de plantas. E-mail: cvale@ula.ve

Introducción

Los cultivos eficientes tienden a invertir la mayor parte de su crecimiento en expandir su área foliar, lo que implica mejor aprovechamiento de la radiación solar. Inicialmente el área foliar aumenta a una tasa exponencial, siendo al comienzo baja y la radiación interceptada no es significativa por varias semanas (Gardner, Brent y Mitchel, 1985).

La determinación del área foliar es importante en estudios relacionados con desarrollo y crecimiento, ya que en las hojas se sintetizan los carbohidratos que van hacia los demás órganos de la planta. Existen diversos métodos para estimar el área foliar, desde métodos destructivos, no destructivos y de estimación. Dentro de ellos métodos directos e indirectos (Vega, Méndez y Rodríguez, 2012).

Los directos se basan en medidas realizadas directamente sobre los órganos de la planta, y pueden ser destructivos y no destructivos. Dentro de los destructivos se destaca la defoliación de la planta y posterior medida del área foliar o, por ejemplo, la defoliación para hallar las relaciones entre el peso fresco de las hojas y su área (Vega et al., 2012). Los no destructivos están basados en medidas de iluminación por aparatos modernos que describen la interceptación de la radiación por parte de la vegetación y otros consisten en ajustar y evaluar modelos estadísticos predictivos para estimar, de manera simple y precisa, el área foliar (Brito et al., 2007; Calderón, Soto, Calderón y Fundora, 2009; Calderón, Calderón, Fundora y Jerez, 2011; Álvarez, Álvarez, Cano y Suescún, 2012; Jerez, Martín y Díaz, 2014; Roberti et al., 2014).

El área de cada hoja guarda relación estrecha con sus parámetros lineales, largo y ancho y se puede describir mediante

ecuaciones de regresión. En este sentido, Álvarez et al. (2012) encontraron relaciones lineales positivas entre el largo, el ancho y el área foliar, mediante el cálculo de ecuaciones de regresión en 13 especies de árboles registradas en el bosque seco del Caribe colombiano. También se han establecido ecuaciones de regresión utilizando parámetros lineales manipulando imágenes digitalizadas para obtener el área foliar, con auxilio del programa AutoCAD Map. Con el área foliar digitalizada determinan la ecuación lineal más adecuada para estimar el área foliar (Sauceda, Lugo, Villaseñor, Partida y Reyes, 2015; Moraes, Klak, Zeizer y Krupek, 2013).

La utilización y precisión de imágenes de hojas escaneadas puede depender del tamaño de la hoja. Por ejemplo, Karatassiou, Ragkos, Markidis y Stavrou (2015), en un estudio con especies forrajeras, utilizaron tres métodos destructivos que incluyeron la estimación del área foliar con un dispositivo fijo en el laboratorio (Delta-metros) y dos softwares para escanear imágenes (Laforem e Image Too) y un cuarto método no destructivo, en el cual el área foliar se estimó usando un dispositivo portátil (Li-3100) en el campo. Encuentran que el equipo L-3100 es muy exacto para especies con hojas grandes, mientras que los métodos destructivos son útiles para las especies con menor área foliar ($< 10\text{cm}^2$).

S. macrophylla es una especie que presenta *dimorfismo foliar*. A los 20 días de germinación, se inicia el desarrollo de raíces laterales y se observa una plúmula de color verde claro que se extiende formando un arco. La brotación completa de la plúmula se efectúa varios días después, cuando se diferencian las primeras hojas simples. Las primeras dos hojas incrementan en tamaño y cambian de rojo a verde, indicando la aparición de pigmentos fotosintéticos.

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, se observan 3 hojas simples, aun 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).

En etapas posteriores del desarrollo, *S. macrophylla*, es una especie arbórea, 35 – 40 metros de altura; presentando durante la fase juvenil y adulta hojas compuestas, alternas, paripinnadas, de 12 a 40 cm de largo, incluyendo el peciolo, 4 – 5 pares de foliolos. Foliolos oblongo-lanceolados o más o menos ovados u oval-elípticos, de 6 – 11 cm de largo y 3,5 – 4 cm de ancho (Niembro, 2010; Schnee, 1984).

Tomando en consideración estos elementos y dado que en la literatura actual no se han encontrado artículos que definan la apreciación del área foliar en plántulas de caoba, se desarrolló el presente trabajo, con el objetivo de establecer un método no destructivo para precisar el área de foliolos en plántulas de caoba en las primeras fases del desarrollo y establecer modelos de regresión que permitan evaluar el área de los foliolos, basado en el largo y ancho de la lámina foliar. La determinación del área de los foliolos permitirá el cálculo del área foliar total de la planta.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó entre los meses de junio y noviembre de 2016, en un vivero artesanal, a plena exposición solar, constituido para realizar análisis de crecimiento de algunas especies de importancia forestal, ubicado en el sector La Raya de la ciudad de Trujillo, Venezuela.

El total de plantas de la especie *S. macrophylla* fue de 150, permaneciendo en vivero por 5 meses, desde la siembra de semilla, hasta la realización de cuatro muestreos de frecuencia mensual, con la finalidad de realizar análisis de crecimiento de las plantas durante las primeras etapas de desarrollo (1 – 5 meses), el primero de ellos 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 cada 30 días, con mediciones en 200 foliolos tomados al azar, a razón de 50 foliolos por muestreo, teniendo como parámetros específicos el largo y ancho de cada foliolo. Considerando que es una especie con dimorfismo foliar, durante los tres primeros muestreos (plantas de 30 – 90 días de edad), los foliolos fueron en su mayoría de hojas simples, solo algunas plantas con 90 días de edad, presentaron hojas compuestas con 2 foliolos. Para el cuarto y último muestreo (120 días de edad de las plantas), se tomaron foliolos de hojas simples y de hojas compuestas. Cada hoja compuesta tenía 2 – 4 foliolos, evaluado la totalidad de ellos. Los mismos foliolos se utilizaron en cada uno de los métodos evaluados.

Los métodos utilizados para la evaluación de los foliolos fueron:

Método para determinar largo y ancho máximo de los foliolos

Las dimensiones de los foliolos se obtuvieron del siguiente modo: la silueta de cada foliolo fresco (previamente numerado) se colocó sobre el papel milimetrado y se midió las dimensiones de largo (L) y ancho mayor (A). Estos valores, correspondientes a cada foliolo, fueron introducidos en una columna de valores en Excel y en columna aparte, el área real (con papel milimetrado). En la misma hoja de cálculo, se determinaron los valores de $L \cdot A$, L^2 , A^2 , L/A y se colocaron

en sus respectivas columnas. La tabulación de estos valores, junto con el área foliar real (milimetrada) se utilizó para la corrida de los procedimientos de correlación y regresión.

Método de área foliar milimetrada

Se coloca sobre el foliolo 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 el foliolo de caoba que se está midiendo. Para facilitar la cuenta, se remarca la región que forman los cuadrados a contar. Luego se cuentan los cuadrados de 5 mm de lado, que quedan fuera de este polígono pero que están dentro del foliolo a medir. Cada uno de estos cuadrados tiene un área de 25 mm², por lo que, para hallar el área en milímetros cuadrados, se multiplica por 25 el número de cuadrados contado. 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 mm² ocupados por la figura en cada cuadrado de 5 mm.

El área de estas siluetas (área real de las láminas foliares) es la variable dependiente que se usó para la estimación del área de los folíolos, mediante ecuaciones alométricas (correlación y regresión), con intervención del largo y ancho de las láminas.

Métodos de Correlación y Regresión

Para los procedimientos de correlación y regresión se utilizó el paquete estadístico SAS 9.1®. Se realizó un análisis de correlación entre las variables para determinar la tendencia o relación real entre ellas a estar relacionadas en una forma definida.

Para el análisis de regresión se utilizaron regresiones simples, incluyendo la variable dependiente (área real, AR) y otra independiente (L, A, L*A, L², A² y L/A) de cada foliolo, obtenida mediante el método del papel milimetrado. También se hizo una regresión de selección paso a paso utilizando el método Stepwise. Este método, engloba una serie de procedimientos de selección automática de variables significativas, basado en la inclusión o exclusión de las mismas en el modelo, de manera secuencial. Se empieza con un modelo de regresión simple y en cada paso se puede añadir una variable y se coteja si alguna de las variables que ya están presentes en el modelo se puede eliminar. El proceso termina cuando ninguna de las variables fuera del modelo tiene importancia suficiente como para ingresar al modelo (Cody y Smith, 2006). El nivel de significancia de entrada de las variables propuestas al modelo Stepwise se fijó en $\alpha=0,15$ y para permanencia en el modelo, $\alpha=0,15$. Es decir, el método permitió seleccionar las variables independientes de mayor peso a ingresar en los modelos.

Se tuvo en cuenta el resultado del coeficiente de correlación (r) y de determinación (R²) para escoger la función lineal que con mayor exactitud estima la superficie foliar. El coeficiente de correlación (r) determina el grado de asociación entre variables, mientras que el coeficiente de determinación (R²) indica el grado de explicación que el modelo estimado hace del fenómeno que se está investigando (Rebolledo, 2002)

Los métodos para la creación de los modelos por regresión incluyen un análisis de varianza que permite determinar de manera objetiva si la participación de la interceptación de una variable independiente en el modelo es significativa o no y, por tanto, si ha de ser incluida o no en el modelo. El

estadístico de prueba fue la prueba de Fisher (prueba de F) y la prueba t.

Resultados y discusión

Estimación de la correlación y la relación del área real (AR) con cada variable

En caso de una alta correlación (r cercano a 1) del AR con una de las medidas lineales, con el producto de éstas ($L \cdot A$), o con cualquier otro valor o combinación que involucre estas medidas (por ejemplo, L^2 , A^2 , cociente L/A), quiere decir que las variables están estrechamente relacionadas. En el Cuadro 1 se observan los valores de los coeficientes de correlación (r) entre el área real (AR) y las variables independientes, y entre variables independientes, observando que las variables que guardan mayor correlación con el Área real (AR) son el producto del largo por el ancho de la hoja ($L \cdot A$), con un coeficiente de correlación muy cercano a 1 ($r = 0,99$) y la variable ancho del foliolo al cuadrado (A^2).

En el Cuadro 2, se indican los coeficientes de determinación (R^2) para cada una de las ecuaciones de regresión y los valores de la prueba F del análisis de varianza, en cada una de las regresiones entre el área real (AR) con cada variable independiente.

Si la posición de la línea de regresión es positiva y el coeficiente de determinación (R^2) es alto, significa que la variable independiente (medida lineal) permite estimar el valor de la variable dependiente (AR). Entonces, se habrá encontrado una ecuación alométrica que estima con alta aproximación el área de los folíolos.

La correlación entre largo de los folíolos y AR indicó, que existe alta asociación entre estas variables ($r = 0,92$). De igual manera, el valor del coeficiente de determinación en la ecuación de predicción ($R^2 = 0,84$), indican que ambas variables están altamente relacionadas. Además, significa que el área del foliolo se explica en un 84% por el largo de la lámina foliar y la parte restante se explica por otros factores no conocidos.

Cuadro 1. Coeficientes de correlación de Pearson y valores de probabilidad entre el Área real (AR) y las variables independientes en una muestra de 200 folíolos de caoba ($\text{Prob} > |r|$ under $H_0: \text{Rho}=0$).

	AR	L	A	$L \cdot A$	L^2	A^2	L/A
AR	1,000	0,9179 < 0,0001	0,94646 < 0,0001	0,99012 < 0,0001	0,93199 < 0,0001	0,95512 < 0,0001	- 0,015 0,8326
L		1,000	0,8333 < 0,0001	0,92878 < 0,0001	0,98030 < 0,0001	0,80394 < 0,0001	0,31266 < 0,0001
A			1,000	0,94809 < 0,0001	0,81831 < 0,0001	0,98030 < 0,0001	- 0,2329 0,0009
$L \cdot A$				1,000	0,94682 < 0,0001	0,95952 < 0,0001	- 0,0014 0,9842
L^2					1,000	0,81965 < 0,0001	0,27696 < 0,0001
A^2						1,000	- 0,2410 0,0006
L/A							1,000

AR: área real; L: largo del foliolo; A: ancho del foliolo

Cuadro 2. Ecuaciones derivadas del análisis de regresión entre el área real (AR) y cada variable; coeficiente de determinación (R^2) y valores de la prueba F del análisis de varianza, en los folíolos de “caoba”.

variables	Ecuación	R^2	Pr > F
L	AR= - 19,08 + 5,33 L	0,84	< 0,0001
A	AR= - 20,15 + 11,32 A	0,90	< 0,0001
L*A	AR=0,75 + 0,69 L*A	0,98	< 0,0001
L ²	AR=2,73 + 0,302 L ²	0,87	< 0,0001
A ²	AR=3,26 + 1,27 A ²	0,91	< 0,0001
L/A	AR=28,24 – 0,56 L/A	0,0002	0,8326
Stepwise	AR=-1,144 + 0,916 A + 0,636 L*A	0,98	< 0,0001

AR: área real; L: largo del foliolo; A: ancho del foliolo

Para la correlación entre el ancho del foliolo (A) y AR, el coeficiente de correlación entre ambas variables ($r = 0,95$) también indica alta correlación entre las variables, pero ligeramente más alta que cuando se correlaciona el largo del foliolo con AR. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,90$) indica que el 90% de la variación de AR se explica por el ancho del foliolo.

El valor del coeficiente de correlación ($r = 0,93$), cuando se correlaciona AR y el largo de los folíolos al cuadrado (L²) indicaron alta asociación entre estas variables, aunque ligeramente menor que en el caso anterior. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,87$) implica que el 87% del área real se explica por el L² y el resto por otros factores.

La correlación entre el área real y el ancho de los folíolos al cuadrado (A²) indica alta relación entre variables ($r = 0,96$). El valor de $R^2 = 0,91$, implica que el 91% del área está determinado por el A² y el resto por otros factores desconocidos.

Cuando se correlacionó el AR con el cociente de L/A, se encontró que el coeficiente de correlación entre ambas variables es muy bajo ($r = - 0,02$), lo cual indica que no existe asociación entre estas variables. Asimismo, el valor indeterminado

de $R^2 = 0,0002$ indica que los valores de L/A no explican los valores de AR. Por lo tanto, no es posible estimar el área foliar con intervención de este cociente.

Finalmente, cuando se correlacionó AR y el producto de L*A (largo x ancho de lámina foliar) se encontró que el coeficiente de correlación ($r = 0,99$), indicó una asociación muy alta entre estas variables, revelando la correlación más alta entre todas las pruebas realizadas. Por otro lado, el valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 0,98$) indicó que el 98% del área real se explica por el producto de largo por ancho del foliolo (L*A) y el resto por otros factores desconocidos. Este resultado indica que es posible predecir los valores del área real (AR) a través de los valores de L*A.

De lo anterior se infiere que, la mejor estimación del área de los folíolos de “caoba” se obtiene mediante el producto del L*A (como variable independiente).

Este resultado se explica por tratarse de un foliolo de forma regular, donde la relación entre las medidas de L, A y AR sigue una misma tendencia. Se trata de un caso de isometría, donde las variables crecen a la misma tasa, manteniendo un tamaño proporcional constante, aunque de tamaño

absoluto diferente (Shingleton, 2010). En otras especies, cuya hoja o foliolo es de forma regular, también se ha encontrado que la mejor forma de estimar el área, es mediante la intervención del producto del largo por el ancho. Así, por ejemplo, Seminario, Oblitas y Escalante (2017), en una investigación con “yacon” (*Smallanthus sonchifolius* (Poep. & Endl.) H. Rob.) al estimar el área foliar de ocho morfotipos de la especie, en todos los morfotipos, excepto en dos, las mejores ecuaciones para estimar el área foliar, fueron aquellas donde intervino el producto de $L \cdot A$. De igual manera, en 13 especies de árboles del bosque seco del Caribe colombiano, se encontró que existe una relación lineal positiva entre los logaritmos del área foliar y del producto de $L \cdot A$, tanto para las especies, como para las categorías de especies (Álvarez et al., 2012).

A igual resultado llegan las siguientes investigaciones: “valeriana” (Rojas y Seminario, 2014), “mamey” (Calderón et al., 2011), “aliso”, “mangle” y “roble” (Cabezas, Peña, Duarte, Colorado y Lora, 2009), “mango” y “aguacatero” (Calderón, 2009), “papa” (Jerez et al., 2014).

En esta investigación, la ecuación que permite un mejor ajuste en las relaciones individuales del área real (AR) con cada variable independiente es su relación con el producto del largo por ancho del foliolo ($AR=0,75 + 0,69 L \cdot A$). El coeficiente de correlación ($r = 0,99$) y el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,98$) son cercanos a 1, e indican muy alta asociación entre variables.

Las demás ecuaciones, excepto en la que interviene el cociente L/A (la cual muestra que no existe correlación entre L/A y AR), también permiten estimar el área real, pero con menor capacidad de ajuste. Por lo tanto, son menos recomendables para estimar el área foliar de esta especie.

Relación del Área real (AR) con variables seleccionadas por criterio STEPWISE

En el primer paso, este criterio seleccionó la variable $L \cdot A$ ($AR=0,74608 + 0,68652 L \cdot A$, $p < 0,0001$). En el segundo paso, selecciona la variable A (ancho del foliolo) y la ecuación de regresión resultante es: $AR= - 1,144 + 0,916 A + 0,636 L \cdot A$. El valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 0,98$), indican que estas variables y el área real (AR) están altamente relacionadas. Además, significa que el área del foliolo se explica en un 98% por ambas variables.

Conclusiones

El procedimiento para estimar el área de los foliolos de esta especie, consistió en medir el largo y el ancho máximo de las láminas foliares para encontrar la ecuación de mejor ajuste. De este modo, se obtiene el área de cada foliolo y la sumatoria de los mismos, constituye el área foliar total de la planta.

La ecuación que permite el mejor ajuste en las relaciones individuales del área real (AR) de foliolos de plántulas de caoba, *S. macrophylla* King, con cada variable independiente, es su relación con el producto del largo por ancho del foliolo, descrita por la ecuación $AR=0,75 + 0,69 L \cdot A$ ($R^2 = 0,98$). En relación al criterio Stepwise, la ecuación alométrica que mejor estima el área de los foliolos de esta especie, es $AR= - 1,144 + 0,916 A + 0,636 L \cdot A$ ($R^2 = 0,98$). Ambas ecuaciones se pueden considerar al momento de hacer predicciones para determinar área de los foliolos de plántulas de caoba en vivero.

Referencias bibliográficas:

Alvarenga S, Flores E. 1988. Morfología y germinación de la semilla de caoba, *Swietenia macrophylla* King

- (Meliaceae). *Rev. Biol. Trop.*, 36 (2A): 261-267.
- 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. Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 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*, Tomo 84 (2): 29-32.
- Cabezas G, Peña F, Duarte H, Colorado J y Lora S. 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, Soto F, Calderón M y Fundora L. 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.
- Calderón A, Calderón M, Fundora L y Jerez E. 2011. Estimación de área foliar en posturas de mamey (*Pouteria sapota* (Jaccq) en fase de vivero, a partir de las medidas lineales de las hojas. Ministerio de Educación Superior. Cuba, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). *Cultivos Tropicales*, 32 (2):30-34.
- Cody R y Smith J. 2006. Applied statistics and the SAS programming lenguaje. Quinta ed. United States of America. Pearson Prentice Hall, 574 p.
- Gardner F, Brent R y Mitchel R. 1985. Carbon fixation by crop canopies. In: *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. p. 31-57. Traducido por: J Chiesa, S.F. Luque y M.G. Cantarero. *Cereales y Oleaginosas*. (2000).
- Jerez M, Martín M y Díaz H. 2014. Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) por métodos no destructivos. Ministerio de Educación Superior. Cuba, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). *Cultivos Tropicales*, 35 (1): 57-61.
- Karatassiou M, Ragkos A, Markidis P y Stavrou T. 2015. Comparative Study of Methods for the Estimation of the Leaf Area in Forage Species. Proceedings of the 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015), Kavala, Greece, 17-20 September, 2015.
- Moraes L, Klak R, Zeizer T y Krupek R. 2013. Avaliação da área foliar a partir de medidas lineares simples de cinco espécies vegetais sob diferentes condições de luminosidade. *Porto Alegre. R. bras. Bioci.*, 11 (4). 381-387.
- Niembro A. 2010. *Swietenia macrophylla* King En: Manual de semillas de árboles tropicales, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal (J.A. Vozzo. Editor). p. 703 – 705.
- Rebolledo H. 2002. Manual SAS por computadora: Análisis estadístico de datos experimentales. Editorial Trillas, México. 208 p.
- Roberti J, Bas S, Romero J, Interdonato R, Budeguer R, Amado M, Rodríguez J y Romero E. 2014. Métodos no destructivos de estimación del área foliar de hojas individuales en dos híbridos de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*, 91 (1): 27-31.
- Rojas J y 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.
- Sauceda C, Lugo G, Villaseñor H, Partida L y Reyes A. 2015. Un método preciso para medir severidad de roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriksson) en trigo. *Rev. Fitotec. Mex.*, 38 (4): 427-434.
- Schnee L. 1984. Plantas comunes de Venezuela. Tercera edición. Universidad Central de Venezuela, Ediciones de la Biblioteca. Caracas, Venezuela. 822 p.
- Seminario J, Oblitas I y Escalante B. 2017. Área foliar del yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poep. & Endl.) H. Rob.) estimada mediante método indirecto. *Agron. Mesoam*, 28(1):171-181.
- Shingleton A. 2010. Allometry: the study of biological scaling. *Nature Educ. Knowl.*, 3(10):2.
- Vega T, Méndez C y Rodríguez W. 2012. Análisis del crecimiento de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante la metodología del análisis funcional. *Agronomía Costarricense*, 36(2): 29-46.