

Modelos para la estimación no destructiva del área foliar de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en la Argentina

Burgos, A.M.; M.M. Avanza, C.N. Balbi, J. Prause y J.A. Argüello

RESUMEN

La medición del área foliar (AF) en mandioca es difícil de realizar, ya que sus hojas poseen lóbulos particularmente irregulares que precisan procedimientos meticulosos y lentos, y se requieren instrumentos sofisticados y costosos. El objetivo de esta investigación fue ajustar y evaluar modelos estadísticos predictivos para estimar, de manera simple y precisa, el AF de dos cultivares de mandioca cultivados en Corrientes, Argentina. En las diferentes muestras se determinaron las dimensiones lineales y el peso seco de las hojas. Se ajustaron ecuaciones de regresión lineal múltiple para estimar el AF mediante el método de selección de variables **stepwise** para dos cultivares de mandioca. El modelo seleccionado por su buen ajuste y precisión para estimar el área foliar fue: $AF = \beta_0 + \beta_1.LP(cm) + \beta_2.SLC(cm^2) - \beta_3.\sum LL(cm)$, el cuál está basado en dimensiones no destructivas y de fácil medición. Dicho modelo requiere de diferentes estimaciones de sus parámetros para cada cultivar. Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que bajo las condiciones de evaluación, el área foliar puede ser estimada usando simples mediciones lineales, como ser la longitud del pecíolo, la sumatoria de la longitud de los lóbulos y la superficie del lóbulo central para ambos cultivares.

Palabras clave: dimensiones foliares, raíces reservantes, regresión lineal múltiple.

Burgos, A.M.; M.M. Avanza, C.N. Balbi, J. Prause and J.A. Argüello, 2010. Models for non-destructive leaf area estimation of two cassava (*Manihot esculenta* crantz) cultivars in Argentina. Agriscientia XXVII: 55-61

SUMMARY

It is difficult to make the measurement of the cassava leaf area (LA) due to the irregular shape of the lobes which need meticulous, time consuming and tedious methods and demand sophisticated and expensive instruments. The aim of this research was to adjust and to evaluate simple and precise statistical predictive models in order to estimate the LA of two cassava cultivars grown in Corrien-

tes, Argentina. In the different samples, leaves linear dimensions and leaf dry weight were determined. Lineal regression equations for two cassava cultivars were tested to estimate LA through the *stepwise* variable selection method. The model selected due to its goodness of fit and precision to estimate LA was: $LA = \beta_0 + \beta_1 \cdot PL(cm) + \beta_2 \cdot CLA(cm^2) + \beta_3 \cdot \sum LL(cm)$, based on non-destructive and easy to measure dimensions. This model needs different estimations of the parameters for each cultivar. The results obtained in this research showed that under the evaluated conditions and for both cultivars, leaf area might be estimated using simple linear measurements, as petiole length, sum total of lobes length and central lobe area.

Key words: leaf dimensions, storage roots, multiple lineal regression.

A.M. Burgos, M.M. Avanza, C.N. Balbi y J. Prause. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. Sargento Cabral 2131. 3400. Corrientes. J. A. Argüello. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNC. Correspondencia a A.M. Burgos: burgosangela@agr.unne.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) constituye el principal componente energético en la dieta de más de 600 millones de personas de las regiones tropicales del mundo. Las raíces tuberosas de esta planta almacenan carbohidratos y son utilizadas como hortaliza, para la extracción industrial de su fécula y para la alimentación animal. La Argentina es el país más austral entre los productores de mandioca de América del Sur, y en la provincia de Corrientes se concentra el 10% de la producción nacional (SAGPyA, 2003). La tasa de crecimiento de este cultivo, la tasa de engrosamiento de raíces (Cunha Alves, 2002) y el rendimiento final están fuertemente correlacionados con el área foliar (AF). La medición directa del AF requiere instrumentos sofisticados, costosos, de poca accesibilidad (Bhatt & Chanda, 2003) y el procedimiento demanda considerable tiempo, lo que se constituye en una limitación importante para su realización. Sin embargo, el AF estimada a través de los modelos predictivos es uno de los parámetros más importantes en la evaluación del crecimiento de las plantas, y su adecuada determinación resulta de fundamental importancia para la correcta interpretación de los procesos fisiológicos del crecimiento y del desarrollo del cultivo (Ascencio, 1985; Bhatt & Chanda, 2003; Demirsoy, 2009). Además, permite especificar directamente el índice de área foliar a través de las distintas fases fenológicas y calcular numerosos índices de eficiencia del cultivo (Gardner *et al.*, 1985), de importancia en estudios ecofisiológicos que permiten sentar las bases de la generación del rendimiento de un material genético determinado en interacción con un ambiente dado.

Es por ello que resulta sumamente útil y práctico poder contar con ecuaciones que permitan estimar indirectamente el AF de forma rápida, sencilla y precisa a campo a partir de variables de fácil medición. Los modelos así ajustados no son generalizables, por lo que se hace necesario el desarrollo de estudios específicos teniendo en cuenta la variabilidad entre cultivares y ambientes, para lograr la máxima precisión y reducir las posibilidades de errores de estimación significativos.

El análisis de regresión es un método que permite investigar y modelar la relación existente entre una o más variables regresoras con una única variable dependiente o respuesta. Asimismo, una de las herramientas más utilizadas para evaluar la adecuación general de un modelo es el coeficiente de determinación (R^2) (Montgomery *et al.*, 2004). Específicamente en mandioca, Ascencio (1985) ajustó modelos lineales para la estimación del AF de cuatro variedades (2078, 2320, Barinas y Sucre) de Venezuela, en función de dimensiones foliares alométricas y el peso seco de las hojas y encontró un muy buen ajuste (R^2 entre 0,90 y 0,95). Numerosas investigaciones realizadas en cultivos tan diversos como níspero (Meza y Bautista, 1999), vid (Gutierrez & Lavin, 2000; Williams & Martinson, 2003), cerezo (Cittadini & Peri, 2006), ka'a he'e o yerba dulce (Espitia *et al.*, 2006; Ramesh *et al.*, 2007), melón (Chrinos *et al.*, 1997), taro (Hsiu-Ying *et al.*, 2004), habas (Peksen, 2007) y en algunos frutales (Demirsoy, 2009), entre otros, han logrado establecer ecuaciones cuadráticas o lineales simples o múltiples que permiten estimar el AF con R^2 comprendidos entre 0,80 y 0,99. Todos ellos, a partir de dimensiones lineales foliares como variables regresoras, seleccionadas en ciertos casos

mediante el método de *stepwise*, utilizando como criterios de adecuación R^2 , significancia de los parámetros, cuadrado medio del error y herramientas de estadística PRESS.

El objetivo de este trabajo fue ajustar y evaluar modelos estadísticos que permitan estimar de manera simple y precisa el área foliar de los cultivares de mandioca 'Palomita' y 'Amarilla' en Corrientes, Argentina, a partir de variables de fácil medición en el campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de experimentación y características biogeográficas

El trabajo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste, ubicado al noroeste de la provincia de Corrientes, Argentina (27° 28' 27" S, 58° 47' 00" O), durante la campaña 2006-2007. El clima se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 1300 mm anuales, evapotranspiración media anual según Thornthwaite de 1100 mm y una temperatura media anual de 21,6° C, con un período libre de heladas de 340 a 360 días. De acuerdo a los datos meteorológicos mencionados y tomando la clasificación climática de Copen, la región se clasifica como Cf w'a (h), que expresa un clima mesotermal, cálido templado, sin estación seca, con precipitaciones máximas en otoño y veranos muy cálidos (media superior a los 18 °C). Por sus características, según Copen corresponde a Climas Templados Húmedos (De Fina y Ravelo, 1985; INTA, 1996; Strahler y Strahler, 1997).

El suelo del sitio de experimentación es Udip-samment álfico, mixto, hipertérmico, perteneciente a la Serie Ensenada Grande. El relieve es suavemente ondulado, con pendientes de 1 a 1,5%. Estos suelos presentan una granulometría gruesa en superficie, de colores pardo a pardo rojizo en los horizontes subyacentes. El suelo es profundo (>100 cm), masivo, muy friable y medianamente a débilmente ácido en el horizonte A (Soil Survey Staff, 1975; 1990).

Material biológico

Se evaluaron los cultivares localmente denominados como 'Palomita' y 'Amarilla'. El cultivar 'Palomita' recibe las sinonimias regionales de 'Pombero Blanco', 'Blanca de Misiones', 'Blanca Misionera' o simplemente 'Blanca'. El cultivar 'Amarilla' se caracteriza por presentar el feloderma y el cilindro central de color amarillo, lo cual resulta de sumo

interés debido a que existe una buena correlación ($R^2 = 0,84$) entre la intensidad de la pigmentación amarilla de las raíces y su contenido de caroteno. La particularidad de poseer los genes responsables de la producción de β -carotenos, tan importantes para la salud humana como precursor de la vitamina A (Fregene *et al.*, 2002; CIAT, 2005) hace de éste un clon de interés para la agricultura.

Variables medidas

En cada muestra se midió el área foliar total (AF) y el área foliar del lóbulo central (AFLC) con medidor de área foliar marca Li-Cor modelo 3000 A-01. De esas mismas hojas se obtuvieron las siguientes dimensiones, en cm: longitud del lóbulo central (LLC), ancho máximo del lóbulo central (ALC) y longitud del peciolo (LP), medidas con cinta métrica en sentido acrópeto con una precisión cercana a 0,1 cm. Asimismo, se determinó la superficie del lóbulo central (cm^2) (SLC) a través del producto de la longitud y ancho máximo (LLC x ALC), el número total de lóbulos (NL) y la sumatoria de los largos de cada uno de los lóbulos de la hoja, incluido el lóbulo central (Σ LL). Además, cada una de estas hojas fue secada en estufa de circulación de aire forzado a 70 °C durante 48 horas a fin de obtener el peso seco individual de las láminas (g) (PSL) y el de los peciolos (g) (PSP) por separado, medido con balanza de precisión. El peso seco total de la hoja (g) (PST) se obtuvo a partir de la suma de PSL y PSP.

Diseño de muestreo

Todas las plantas estudiadas se cultivaron en el huerto clonal de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo las mismas condiciones ambientales y de manejo cultural. El muestreo se realizó en dos momentos del ciclo de crecimiento del cultivo: 1) período de pleno desarrollo vegetativo, 150 días posplantación (febrero); 2) período previo a la fase de reposo, 210 días posplantación (abril). La toma de muestras consistió en seleccionar aleatoriamente 10 plantas de cada cultivar, y de cada planta se obtuvieron 75 hojas por momento de muestreo, extraídas de los distintos estratos del tallo principal (inferior, medio y superior), a fin de obtener muestras representativas de la población.

Análisis estadístico

Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre el AF y las variables evaluadas por cultivar. Posteriormente se realizaron análisis de regresión lineal simple y múltiple mediante el PROC REG de SAS (SAS Institute, 2000), utilizando el método de selección de variables *stepwise*.

Como criterios de selección de modelos se utilizaron: coeficientes de determinación (R^2 y R^2 parciales), cuadrado medio residual (CMres), estadístico Cp Mallows, pruebas F para evaluar la significancia de los parámetros, y gráficos de residuales en función de los predichos y de variables regresoras (Montgomery *et al.*, 2004). El modelo fue seleccionado en función de los resultados estadísticos y la facilidad de aplicación. Para evaluar la igualdad de las ecuaciones de regresión estimadas para cada cultivar se utilizó la prueba de hipótesis mediante el estadístico F de Snedecor ($\alpha=0,05$), según el algoritmo propuesto por Graybill (1976).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir de cada una de las variables medidas fueron estudiados independientemente para poder caracterizar cada cultivar bajo estudio, y se calcularon los valores promedios y desvíos estándar para cada parámetro analizado.

En la Tabla 1 se observa que el cultivar 'Amarilla' presenta 20% más de AF que el cultivar 'Palomita'; consecuentemente, presenta mayor peso seco total, aportado principalmente por la lámina. Debido a que el número de lóbulos es similar en ambos cultivares, es el tamaño lo que determina dicha diferencia de AF, la cual esta dada por la relación entre longitud y ancho de lóbulos. Asimismo, ambos cultivares difieren en las formas de los lóbulos de las hojas, descripta como recta o lineal para el cultivar Palomita y abovada para Amarilla (CATIE,

1981).

Previo al ajuste de modelos de regresión se analizó la correlación lineal existente entre el AF y el resto de las variables para cada cultivar, con el fin medir el grado en que estas variables covarían, ya sea positiva o negativamente (Tabla 2).

En la Tabla 2 puede observarse que en ambos cultivares todos los coeficientes de correlación resultaron positivos y altamente significativos ($p<0,01$), lo que indica diferentes grados de asociación entre el AF medida directamente sobre las hojas con el medidor Li-Cor 3000A respecto a las demás variables. Para el cultivar 'Amarilla' los mayores coeficientes se presentan con las variables área foliar del lóbulo central (AFLC, $r = 0,90$), superficie del lóbulo central (SLC, $r = 0,90$), peso seco de lámina (PSL, $r = 0,88$) y peso seco total (PST, $r = 0,88$); mientras que para el cultivar 'Palomita' las mayores asociaciones se dan con las variables peso seco de lámina (PSL, $r = 0,92$), peso seco total (PST, $r = 0,92$), peso seco de pecíolo (PSP, $r = 0,90$), sumatoria de longitud de lóbulos (ΣLL , $r = 0,89$) y longitud de pecíolo (LP, $r = 0,88$). De manera similar, Ascencio (1985) cita coeficientes de correlación muy semejantes a los encontrados en el presente estudio entre AF y LLC ($r = 0,94$), SLC ($r = 0,88$), ΣLL ($r = 0,87$) en ensayos realizados en Venezuela para las variedades de mandioca Sucre, 2078, 2320 y Barinas. Los resultados presentados en la Tabla 2, muestran diferencias en los coeficientes de correlación entre los cultivares 'Amarilla' y 'Palomita'. Esto refuerza los resultados hallados en la Tabla 1, los que aunados a las di-

Tabla 1. Media y desvío estándar para las variables analizadas de los cultivares de mandioca 'Amarilla' y 'Palomita'.

Variable	Cultivar Amarilla		Cultivar Palomita	
	Media \pm Desvío estándar		Media \pm Desvío estándar	
Área foliar (AF)	155,425 \pm 47,126		122,842 \pm 41,307	
Área foliar del lóbulo central (AFLC)	30,406 \pm 8,332		22,271 \pm 6,833	
Longitud del lóbulo central (LLC)	12,916 \pm 1,784		19,188 \pm 3,224	
Ancho del lóbulo central (ALC)	4,156 \pm 0,682		1,719 \pm 0,537	
Superficie del lóbulo central (SLC)	54,488 \pm 14,931		33,241 \pm 11,186	
Número total de lóbulos (NL)	6,760 \pm 0,738		6,740 \pm 0,736	
Sumatoria de longitud de lóbulos (ΣLL)	76,180 \pm 13,779		123,527 \pm 13,142	
Longitud del pecíolo (LP)	21,650 \pm 5,870		21,084 \pm 6,332	
Peso seco lámina (PSL)	0,724 \pm 0,273		0,633 \pm 0,251	
Peso seco pecíolo (PSP)	0,262 \pm 0,167		0,241 \pm 0,155	
Peso seco total (PST)	0,987 \pm 0,419		0,859 \pm 0,418	

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre el AF y las variables evaluadas para los cultivares 'Amarilla' y 'Palomita'. Las siglas se corresponden con las detalladas en la Tabla 1.

Cultivar	AFLC	LLC	LP	ALC	SLC	NL	ΣLL	PSL	PSP	PST
Amarilla	0,9075**	0,8445**	0,7812**	0,7989**	0,9060**	0,2388**	0,8373**	0,8856**	0,7615**	0,8824**
Palomita	0,8516**	0,7197**	0,8832**	0,7816**	0,8471**	0,5019**	0,8985**	0,9284**	0,9064**	0,9278**

**Significativos al 1%.

ferencias exomorfológicas mencionadas, indican que dichos cultivares presentan un comportamiento diferente y consecuentemente se deben ajustar ecuaciones de regresión independientes para cada uno de ellos.

En la Tabla 3 se presentan ecuaciones de regresión obtenidas con el método de selección de variables *stepwise*, las cuales presentan un buen ajuste, con valores de $R^2 = 0,95$ y $0,97$ respectivamente para cada cultivar, y los valores obtenidos del coeficiente C_p son cercanos al número de parámetros (p), lo cuál indica que dichos modelos muestran pequeño sesgo en la predicción. Todas las variables seleccionadas en cada modelo presentaron una relación lineal significativa con el AF ($p < 0,0001$), pero para el cultivar 'Amarilla' la variable SLC aportó la mayor explicación del AF (R^2 parcial = $0,84$), y para el cultivar 'Palomita' la variable PST fue la que aportó mayor explicación del AF (R^2 parcial = $0,93$). El análisis de residuales en función de los predichos no mostró patrones que sugieran falta de ajuste para ambos cultivares.

A pesar de que los modelos propuestos en la Tabla 3 muestran un buen ajuste y precisión, presentan algunas dificultades al momento de ser utilizados: son modelos con un alto número de parámetros, poco sencillos, para los cuales se deben medir variables como el peso seco de hojas (PST), lo cual exige la destrucción de las muestras y la medición directa del área foliar del lóbulo central de las hojas (AFLC) con Li-Cor 3000-A, un instrumen-

to poco accesible y de elevado costo (Dermirsoy, 2009). De acuerdo con Ascencio (1985), la única ventaja de este tipo de modelo predictivo es que economizaría tiempo en el caso de que se necesite trabajar con un elevado número de muestras, dado que en este caso la utilización de medidas lineales de las hojas podría resultar demasiado laboriosa.

En la Tabla 4 se presentan las ecuaciones de regresión obtenidas para cada cultivar y en la Tabla 5 se muestran las estimaciones de los parámetros con sus respectivos R^2 parciales y significancia de la prueba F. Se observa que el modelo seleccionado para ambos cultivares fue el siguiente:

$$AF = \beta_0 + \beta_1.LP(cm) + \beta_2.SLC(cm^2) + \beta_3.\sum LL(cm)$$

el cual está basado en dimensiones foliares no destructivas y de fácil medición (Tabla 4).

Aunque en ambos cultivares se obtuvo similar precisión en el modelo ajustado ($R^2 = 0,93$ y $0,92$), éstos difieren en las estimaciones de sus parámetros y el aporte que realiza cada variable al modelo. La ecuación de regresión para el cultivar Amarilla asume cuatro parámetros cuyas estimaciones resultaron todas significativas ($p < 0,0001$); uno de ellos es la ordenada al origen o "intercept" ($-57,79$) y los otros tres relacionados a variables de medición simple como LP, SLC y $\sum LL$ (Tabla 4). El mayor aporte a la explicación del AF está dado por LP (R^2 parcial = $0,84$) y en menor medida las variables SLC y $\sum LL$ (Tabla 5).

La ecuación de regresión ajustada para el culti-

Tabla 3. Ecuaciones de regresión lineal múltiple seleccionadas mediante el método de *stepwise* para la estimación de AF de los cultivares 'Amarilla' y 'Palomita'. Las siglas se corresponden con las detalladas en la Tabla 1.

Cultivar	Ecuación	R^2	CM error	C_p	p
Amarilla	$AF = -37,44 + 31,17 PST + 0,54 SLC + 0,99 \sum LL + 1,89 AFLC$	0,95	108,15	5,47	5
Palomita	$AF = 12,08 + 54,52 PST + (-1,76) LLC + 0,37 \sum LL + 2,36 AFLC$	0,97	65,18	6,50	5

Tabla 4. Ecuaciones de regresión lineal múltiple seleccionadas mediante el método de *stepwise* basadas en variables no destructivas para la estimación de AF de los cultivares 'Amarilla' y 'Palomita'. Las siglas se corresponden con las detalladas en la Tabla 1.

Cultivar	Ecuación	R^2	CM error	C_p	p
Amarilla	$AF = (-57,79) + 1,45 LP + 1,71 SLC + 1,15 \sum LL$	0,93	159,88	9,61	4
Palomita	$AF = (-23,32) + 2,62 LP + 1,19 SLC + 0,43 \sum LL$	0,92	141,61	8,69	4

Tabla 5. Estimación de parámetros de las ecuaciones de regresión lineal múltiple, significancia y R^2 parciales para las ecuaciones seleccionadas para estimar el AF de los cultivares 'Amarilla' y 'Palomita'. Las siglas se corresponden con las detalladas en la Tabla 1.

Cultivar	Variables	Parámetros estimados	R^2 parciales	$Pr > F$
Amarilla	LP	1,45	0,840	<0,0001
	SLC	1,71	0,014	<0,0001
	$\sum LL$	1,15	0,071	<0,0001
Palomita	LP	2,62	0,809	<0,0001
	SLC	1,19	0,089	<0,0001
	$\sum LL$	0,43	0,024	<0,0001

var 'Palomita' presenta también cuatro parámetros, uno de ellos es la ordenada al origen (-23,3), y los otros tres relacionados con las mismas variables que las del cultivar 'Amarilla' (LP, SLC y Σ LL), donde también el mayor aporte a la explicación del AF está dado por LP (R^2 parcial= 0,80) y en menor medida por las variables SLC y Σ LL (Tabla 5). El análisis de residuales en función de los predichos no mostró tendencias que sugieran falta de ajuste para ambos cultivares.

La prueba de hipótesis para evaluar la igualdad de las ecuaciones de regresión estimadas para cada cultivar arrojó un valor de $F=113,76$, altamente significativo ($p<0,01$), lo que indica que se deben utilizar coeficientes de regresión independientes para cada cultivar. Estos resultados ponen de manifiesto las diferencias existentes entre cultivares, en concordancia con lo manifestado por Cunha Alves (2002) al mencionar que existen diferencias significativas en el AF entre las variedades de mandioca y que éstas a su vez son modificadas en respuesta a las diversas condiciones ambientales. De igual manera, Ascencio (1985), en ensayos llevados a cabo en Venezuela, desarrolló diferentes ecuaciones para estimar el área foliar de cada cultivar de mandioca, dando cuenta de la variabilidad genética entre éstos (Velázquez, 2006). Además, en las condiciones dadas en el presente estudio existen diferencias exomorfológicas observables entre ambos cultivares, en relación a la forma de los lóbulos, el hábito de ramificación, el número de ápices por planta, la tasa de formación foliar por ápice, el número total de hojas por ápice y la longevidad foliar.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que bajo las condiciones de evaluación, el área foliar puede ser estimada usando simples mediciones lineales, como ser la longitud del peciolo, la sumatoria de la longitud de los lóbulos y superficie del lóbulo central para ambos cultivares.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado y ajustado un modelo rápido y sencillo, basado en variables de fácil medición a campo y no destructivas, para predecir con precisión el área foliar de los cultivares de mandioca 'Amarilla' y 'Palomita'.

La validación del modelo seleccionado implica el desarrollo de futuras investigaciones que contemplen la recolección de nuevas muestras, en diferentes etapas del ciclo del cultivo y en otras regiones con condiciones agroecológicas similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Ascencio, J., 1985. Determinación del Area Foliar en plantas de Caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y Batata (*Ipomea batatas* (L.) POIR) utilizando dimensiones lineales y de peso seco de las hojas. Turrialba Vol. 35, No.1, pp. 55-64.
- Bhatt, M.A. and S.V. Chanda, 2003. Prediction of leaf area in *Phaseolus vulgaris* by non-destructive method. Bulgarian Journal of Plant Physiology 29, pp. 96-100.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), 1981. Catálogo de la Colección de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) del CATIE. Costa Rica. 40 pp.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2005. Annual Report. Output 1-45. Genetic Base of Cassava and related Manihot species evaluated and available for cassava improvement: higher nutritional quality. Project IP3: improving cassava for the development world.
- Cittadini, E.D. and P.L. Peri, 2006. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. RIA, 35 (1): 143-150.
- Chrinos, T., L.Chrinos, F. Geraud, O. Castejón, R. Fernandez; J. Vergara, L. Mármol y D. Chrinos, 1997. Modelos para estimar el área foliar de melón híbrido 'Durango'. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 14(2): 163-171.
- Cunha Alves, A.A., 2002. Cassava Botany and Physiology. En: Cassava: Biology, Production and Utilization. Hillocks, R.J., J.M. Tres, and A.C. Bellotti (eds). CAB International. London, U.K. 352 pp.
- De Fina, A.L. y A.C. Ravelo, 1985. Climatología y Fenología Agrícolas. 4º Ed. EUDEBA. Buenos Aires, Argentina. 354 pp.
- Demirsoy, H., 2009. Leaf area estimation in some species of fruit tree by using models as a non-destructive method. Fruits, 64 (1): 45-51.
- Espitia, M.M.; R.A. Montoya, J.R. Robles, C.C Barbosa y C.A. Vergara, 2006. Modelo estadístico para estimación del área foliar en *Stevia rebaudiana* Bertoni en el Sinu Medio. Temas Agrarios. 11 (2): 45-51.
- Fregene, M.A.; J. Thome, W. Roca, P. Chavariaga, R. Escobar y H. Ceballos, 2002. Biotecnología para la yuca. En: La yuca en el Tercer Milenio. Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2002. Ospina y Ceballos (eds). Cali, Colombia. 21: pp. 377-405.
- Gardner, F.P., R. Brent Pearce and R.L. Mitchel, 1985. Carbon fixation by crop canopies. In: Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. pp. 31-57.
- Graybill, F.A., 1976. Theory and application of the linear

- model. Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, California. 704 pp.
- Gutierrez, T. and A. Lavín, 2000. Linear measurements for non destructive estimation of leaf area in 'Chardonay' vines. *Agricultura Técnica* 60 (1), 69-73.
- Hsiu-Ying, L.; L. Chun-Tang, W. Meng-Li and C. Lit-Fu, 2004. Comparison of different models for nondestructive leaf area estimation in taro. *Agronomy Journal* 96, pp. 448-453.
- INTA, 1996. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Corrientes. Estación Agropecuaria Corrientes. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. Corrientes, Argentina. 390 pp.
- Meza, N. y D. Bautista, 1999. Estimación del área foliar en plantas jóvenes de Níspero (*Manilkara achras*, Millar, Fosberg) sometidas a dos ambientes de luz. *Bioagro* 11 (1): 24-28.
- Montgomery, D.C.; E.A. Peck and G.G. Vining, 2004. Introducción al análisis de regresión lineal. Compañía Editorial Continental. México. 567 pp.
- Peksen, E., 2007. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae*. 113 (4): 322-328.
- Ramesh, K.; R. Naleeni and S. Virendra, 2007. Leaf area distribution pattern and non-destructive estimation methods of leaf area for *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. *Asian J. Plant Sci.* 6 (7): pp 1037-1043.
- SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos). [en línea], 2003. Análisis de la cadena alimentaria. <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/horta/Fecula-Mandioca/Fecula_Mandioca.htm> [Consulta: 05 de marzo de 2009].
- SAS Institute Inc., 2000. SAS/STAT Versión 8. Site: 0014759001.
- Strahler, A.N. y A. H. Strahler, 1997. Geografía Física. 3ª Edición. OMEGA. Barcelona, España. 550 pp.
- Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy. EE.UU., Departamento de Agricultura, Servicio de Conservación de Suelos. Traduc. Venezuela. Manual N° 18.
- Soil Survey Staff, 1990. Keys to Soil Taxonomy By Survey Staff SMSS Technical Monograph N° 6 Fourth Edition. Blacksburg, Virginia. USA.
- Velásquez, E. J., 2006. Efecto de la variabilidad en genotipos de Yuca sobre factores vinculados a brotación y crecimiento de esquejes. *Bioagro*. vol.18 no.1 pp.41-48.
- Williams, L. and T.E. Martinson, 2003. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. *Scientia Horticulturae* 98, pp 493-498.