

## MODELOS DE ESTIMACIÓN DE ÁREA FOLIAR A PARTIR DE OBSERVACIONES MORFOLÓGICAS EN *Brachiaria brizantha* cv. Toledo\*

Models estimating leaf area from morphological observations in *Brachiaria brizantha* cv. Toledo

Nora Valbuena<sup>1</sup>, Carlos Parraga<sup>1</sup>, Luis Linares<sup>2</sup>, Jonathan Ramos<sup>3</sup> y Julián Junco<sup>4</sup>

### RESUMEN

Con el objetivo de establecer modelos de regresión para estimar el área de las hojas a partir de la medición del largo y el ancho de la lámina, se realizó un estudio con plantas de *B. brizantha* cv Toledo provenientes de la finca Ave María ubicada en San Genaro de Boconoito, Portuguesa. El muestreo de las hojas se realizó a los seis meses de establecido el pasto, se tomaron 130 hojas de diferentes plantas al azar. Para la determinación del área, la silueta de cada hoja se calcó sobre un papel milimetrado, sin causar daños ni destrucción de tejido, y se contaron los cuadros englobados en el perímetro de la hoja. La información obtenida fue procesada a través de análisis de regresión simple y múltiple. Se obtuvieron coeficientes de regresión altamente significativos para los ajustes efectuados a partir del largo y el ancho de las hojas. A través de la ecuación:  $\hat{y} = b_0 + b_3 X_3$ , donde  $b_0$  = constante y  $b_3 X_3$  = largo por ancho de las hojas, se obtuvo el mayor coeficiente de regresión (0,67), y el mayor ajuste ( $R^2 = 0,95$ ). La medición del largo y ancho de la hoja y su ajuste a través de ese modelo lineal, permite estimar eficientemente el área foliar de *B. brizantha* cv. Toledo. El alto ajuste encontrado entre la ecuación lineal y el área foliar y la no violación de los supuestos, hace apropiado y confiable este procedimiento de estimación en esta especie forrajera.

**Palabras clave:** hoja, modelo de regresión, área foliar, *B. brizantha*.

### ABSTRACT

In order to establish regression models to estimate leaf area from measuring the length and width of the sheet, a study was conducted with plants of *B. brizantha* cv Toledo from the farm Ave Maria located in San Genaro de Boconoito, Portuguesa. Leaf sampling was conducted at six months of established the pasture, 130 leaves of different plant were taken randomly. To determine the area, the shape of each leaf was traced on a graph paper, without causing damage or destruction of tissue, and the area encompassed within the perimeter of the leaf was counted. The information obtained was processed through single and multiple regressions analysis. Highly significant regression coefficients were obtained for almost all adjustments made from the length and width of leaves. Through the equation:  $\hat{y} = b_0 + b_3 X_3$ , where  $b_0$  = constant;  $b_3 X_3$  = length by width of leaves, the largest regression coefficient (0.67), and the largest adjustment ( $R^2 = 0.95$ ) were obtained. The length and width measurement of the leaf and its adjustment through that linear model, can efficiently estimate the leaf area of *B. brizantha* cv. Toledo. The high setting found between the linear equation and leaf area and no violation of assumptions, makes appropriate and reliable this procedure of estimation in this forage species.

**Key words:** leaf, regression model, leaf area, *B. brizantha*.

(\*) Recibido: 10-03-2016

Aceptado: 01-09-2016

<sup>1</sup> Programa Ciencias del Agro y del Mar. Universidad Ezequiel Zamora, UNELLEZ, Guanare. 3350, Po. Venezuela. njvalbuena@hotmail.com; eloycarlos1@hotmail.com.

<sup>2</sup> Agropecuaria La Laguna. Guanare. 3350. Portuguesa. Venezuela. luislinares06091@hotmail.com.

<sup>3</sup> Inversiones Orinoco C.I. Barcelona. 6001. Anzoátegui. Venezuela. ramosperez47k@hotmail.com.

<sup>4</sup> Banco de la Comunidad. Bogotá. 11001000. Colombia. jfernando-cv@hotmail.com.

## INTRODUCCIÓN

Las hojas son los principales órganos donde se desarrolla el proceso fotosintético, por lo que el área foliar es la mejor medida para determinar la capacidad fotosintética de un cultivo determinado. Este parámetro es importante para cualquier estudio que se realice acerca del crecimiento y desarrollo, así como de la productividad de una especie vegetal (Fernández y Arias 1989).

Existen diversos procedimientos para la determinación del área foliar, desde modernos y automáticos equipos como planímetros ópticos, hasta laboriosos y tediosos métodos de laboratorio como el planímetro mecánico. Cuando las plantas son consideradas de manera individual, las medidas lineales de la hoja pueden utilizarse en relaciones funcionales (Simón y Trujillo 1990). Por ser los primeros muy costosos y requerir los segundos prolongados períodos de tiempo, muchos investigadores han tratado de desarrollar procedimientos de fácil ejecución para la determinación del área foliar de diferentes especies. De esos intentos han resultado relaciones sencillas como el caso de Montgomery (1911), quien encontró la relación largo de la hoja por ancho máximo de la hoja por 0,75 como un método para determinar área foliar en maíz y el cual ha sido ampliamente utilizado en este cultivo. Por su parte, Stickler *et al.* (1961) determinaron que la relación largo por ancho máximo por 0,74 es significativamente precisa en la determinación del área foliar del sorgo para grano, independientemente de la variedad o híbrido estudiado. El área foliar guarda relaciones significativamente consistentes con sus medidas lineales, las cuales pueden establecerse mediante ecuaciones de regresión, como lo reportaron Elsner y Jubb (1988), quienes estimaron el área foliar mediante modelos lineales simples en hojas de vid (*Vitis vinifera*). Ascencio (1985) determinó el área foliar en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y camote (*Ipomoea batatas* L. Parr), utilizando dimensiones lineales y peso seco de hojas. De igual forma, Fonseca *et al.* (1994) estimaron el área foliar en hojas de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gom). Estas ecuaciones se pueden utilizar para estimar el

área foliar a partir de esas medidas lineales fácilmente obtenibles (Del Pozo *et al.* 1998).

Existen numerosos trabajos que demuestran la utilidad del método, especialmente, en cultivos semestrales (De Swart *et al.* 2004; Peksen 2007), en cultivos hortícolas (Cittadini y Peri 2006; Mendoza de Gyves *et al.* 2007) y en algunas plantas leñosas (Broadhead *et al.* 2003; Singh 2007).

Sin embargo, en gramíneas forrajeras tropicales son escasos los estudios efectuados para determinar el área foliar y su relación con la potencialidad y productividad. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar modelos de regresión para estimar el área de las hojas de *Brachiaria brizantha* cv. Toledo a partir de la medición del largo y ancho de la lámina foliar.

## METODOLOGÍA

El estudio se realizó en una parcela monoespecífica de *B. brizantha* cv. Toledo en la finca Ave María localizada en el municipio San Genaro de Boconito, ubicada entre 982435 – 979489 Oeste y 405254 – 408430 Norte. El suelo característico del lugar es orden Inceptisol suborden Ustepts y familia oxyaquic Haplustept Francoso fino, mixto, isohipertérmico. Para el establecimiento del pasto se preparó el suelo con cuatro pases de rastra (28 discos). La densidad de siembra de 100.000 plantas/ha (0,50 m entre hileras y a chorro corrido entre plantas). Se aplicó una fertilización básica de 150 kg de fórmula completa (15-15-15) incorporada en el último pase de rastra.

Los muestreos se realizaron a los seis meses de establecida la especie forrajera, se recolectaron 130 hojas escogidas al azar de plantas de diferentes tamaños y posiciones de los tallos. A cada hoja se determinó largo (L) desde la lígula hasta el ápice y ancho (A) en el punto medio del largo de la hoja, se utilizó una regla en centímetros. Se calcó sobre un papel milimetrado la silueta de cada lámina foliar sin causar daño ni destrucción del tejido; posteriormente se midió el área foliar (AF) contando directamente los cuadros englobados en el perímetro de la hoja (Schaeffer-Noveli y Cintron 1986).

Los modelos estudiados fueron:  $\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$  (lineal completo),  $\hat{y} = b_0 + b_3 X_3$  (lineal simple) y  $\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_4 X_4 + b_5 X_5$  (polinomio de tercer grado); donde  $\hat{y}$  define el área foliar predicha. La información se procesó estadísticamente a través de análisis de regresión simple y múltiple mediante el programa Statistix versión 8.0, utilizando el largo ( $X_1$ ), el ancho ( $X_2$ ) y el producto largo por ancho ( $X_1 X_2 = X_3$ ), largo2 ( $X_4$ ) y ancho3 ( $X_5$ ) como variables independientes y el área foliar como variable dependiente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores del área foliar indicaron alta correlación ( $P < 0,01$ ) lineal (Tabla 1) con el largo y el ancho de la lámina foliar, por lo que es posible la evaluación y establecimiento de ecuaciones de regresión que permitan la estimación rápida del área foliar con buena precisión. Cuando se multiplicó el ancho por el largo, los coeficientes de determinación fueron superiores, lo que indica mayor grado de ajuste y de precisión en las estimaciones. Esta respuesta coincide con lo encontrado por Cittadini y Peri (2006) en cerezas y Singh (2007) en guayaba.

Estos resultados coinciden con lo informado por Penton *et al.* (2006), quienes encontraron

correlación significativa entre largo y ancho de la hoja y el área foliar en Morera (*Morus alba* var. acorazonada). Al realizar el estudio de regresión lineal, se encontró un modelo lineal completo que cumplió con los supuestos de normalidad de errores, efectos no lineales y homogeneidad de varianzas, se detectaron siete valores atípicos “outliers” que fueron tratados y excluidos. Luego se procedió a evaluar tres modelos; dos lineales y uno polinómico, los cuales se presentan en la Tabla 2. El modelo que mejor se ajustó fue el lineal  $\hat{y} = b_0 + b_3 X_3$ , que presentó valores de  $R^2 = 0,95$ , superior al modelo lineal múltiple y similar al polinómico, pero este último, aunque corrige el efecto no lineal, aumenta los valores de VIF por encima de 10, que es negativo para la estabilidad del modelo. Estos resultados permiten sugerir el modelo lineal con  $X_3$  (largo x ancho) como mejor alternativa, ya que corrige los problemas de efectos no lineales y mantiene los  $VIF < 10$ .

El examen de residuales del modelo lineal completo, mostró un estadístico  $W = 0,99$ , que indicó normalidad de los errores del modelo. En la Fig. 1 se muestra que la distribución de los errores no es muy uniforme en el eje  $Z = 0 \pm 2,7$ , lo que demostró la presencia de efecto no lineal de alguna de las variables, lo que pudo corregirse con una transformación lineal y con modelo polinómico. En

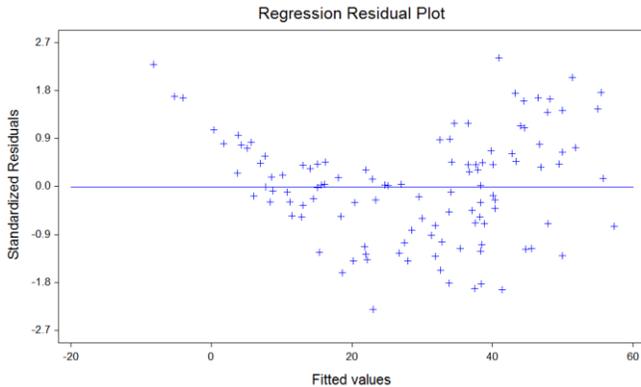
**Tabla 1.** Modelos de regresión evaluados para el ajuste de los datos.

Modelo	Variables	Coefficiente de regresión	Significancia (Probabilidad)
Lineal múltiple $\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$	Largo de hoja ( $X_1$ ) Ancho de hoja ( $X_2$ )	0,724 22,211	0,00 0,00
Lineal simple $\hat{y} = b_0 + b_3 X_3$	Largo x Ancho ( $X_3$ )	0,676	0,00
Polinómico $\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5$	Largo ( $X_1$ ) (Largo) <sup>2</sup> = $X_4$ (Ancho) <sup>3</sup> = $X_5$	0,515 0,004 4,265	0,00 0,01 0,00

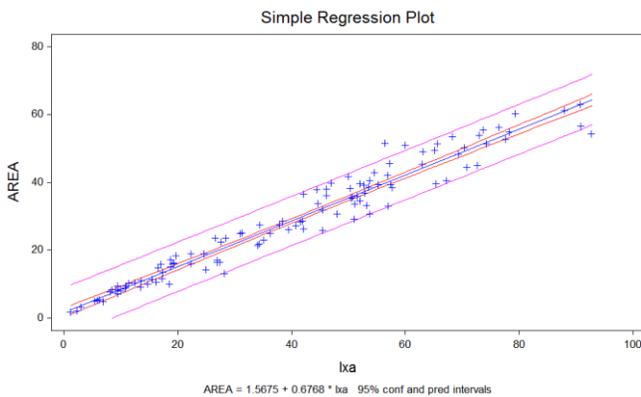
**Tabla 2.** Ecuaciones de regresión seleccionadas para la estimación del área foliar.

Modelo	Lineal	Lineal	Polinómica
	$\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$	$\hat{y} = b_0 + b_3 X_3$	$\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_4 X_4 + b_5 X_5$
$R^2$	0,928	0,950	0,947
F	708,42 **	2131,1 **	650,97 **
$b_0$ , Constante	-18,679	1,567	-1,744
$b_1$ , Largo	0,7594		0,515
$b_2$ , Ancho	19,93		
$b_3$ , Largoxancho		0,676	
$b_4$ , Largo <sup>2</sup>			0,004
$b_5$ , Ancho <sup>3</sup>			4,265

la Fig. 2 se muestra que al aplicar la transformación en largo x ancho ( $X_1 * X_2 = X_3$ ), no es necesario probar modelos distintos al lineal, ya que la banda de confianza de 95 %, incluye casi en su totalidad los valores reales de área foliar.



**Figura 1.** Distribución de residuales estandarizados alrededor del eje  $Z=0$ .



**Figura 2.** Modelo propuesto como mejor alternativa e intervalos del 95 y 99% para los valores predichos.

## CONCLUSIONES

La relación largo por ancho provee una forma sencilla para estimación del área foliar en pasto *B. brizantha* cv. Toledo, cuando se consideren longitudes de hoja entre 3,2 y 59 cm y anchos de hoja entre 0,4 y 2,0 cm.

Los resultados obtenidos permiten estimar eficientemente el área foliar en *B. brizantha* cv. Toledo, utilizando ancho y largo de la hoja, mediante la ecuación de regresión lineal  $\hat{y} = b_0 + b_3 X_3$ , ( $X_3 =$  largo x ancho de la hoja).

## REFERENCIAS

- Ascencio, J. 1985. Determinación del área foliar en plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y batata (*Ipomoea batata* L.) utilizando dimensiones lineales y peso seco de hojas. Turrialba 35: 55-64.
- Broadhead, J., Muxworthy, A., Ong, C. and Black, C. 2003. Comparison of methods for determining leaf area in tree rows. Agric. Forest. Meteorol. 115:151-161.
- Cittadini, E. and Peri, P. 2006. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. RIA. 35(1):143-150.
- De Swart, E., Groenwold, R., Kanne, H., Stam, P., Marcellis, L. and Voorrips, R. 2004. Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annum* L. J. Hort. Sci. Biotech. 79:764-770.
- Del Pozo, P., Herrera, R., Chávez, D. y Fernández, L. 1998. Estimación del área foliar del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) a partir de mediciones lineales de sus hojas. Cultivos Tropicales 19 (2):23-26.
- Elsner, E. and Jubb, G. 1988. Leaf area estimation of concord grape leaves from simple linear measurements. American J. Enol. and Vitic. 39: 95-97.
- Fernández, M. y Arias, E. 1989. Estimación del área foliar en plantas de cultivo: Parte II. Boletín de Reseñas, Suelos y Agroquímica, Edición CIDA, La Habana. 52 pp.
- Fonseca, C., De Conde, R. e Da Fonseca, C. 1994. Estimativa da área foliar em mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gom). Pesquisa Agropecuaria Brasileira 29: 593-599.
- Mendoza De Gyves, M., Roupael, Y., Cristofoti, V. and Mira, F. 2007. A non-destructive simple and accurate model for estimating the

individual leaf area of kiwi (*Actinidia deliciosa*). Fruits 62:171- 175.

Montgomery, E. 1911. Correlation studies of com. Nebraska Agricultural Station Annual Report, Lincoln. 24:108-159.

Peksen, E. 2007. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). Scientia Hort. 113:322-328.

Penton, G., Torres de la Noval, W. y Martin, G. 2006. Nota técnica. Estimación del área foliar a partir de observaciones morfológicas convencionales en *Morus alba* var. Acorazonada. Pastos y Forrajes 29(3) 247.

Schaeffer-Noveli, Y. e Cintron, G. 1986. Guia para estudos de áreas de manguezal: estrutura, função e flora. Caribbean Ecological Research, São Paulo, 150 pp.

Simón, M. y Trujillo, A. 1990. Determinación del área foliar en cinco clones de ocumo (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) O. Schott). Rev. Fac. Agron. 16: 147-158.

Singh, A. 2007. Approximation of leaf area by using leaf dimensions in guava. I International Guava Symposium. Acta Hort. 735:321-324.

Stickler, F., Wearden, S. and Pauli, A. 1961. Leaf area determination in grain sorghum. Agr. J. 53: 187-188.