

Métodos no destructivos de estimación del área foliar por tallo en la variedad LCP 85-384 de caña de azúcar

Esteban Brito*, Eduardo R. Romero*, Sergio D. Casen*, Luis G. Alonso*
y Patricia A. Digonzelli*

RESUMEN

En este trabajo se ajustan métodos no destructivos para estimar el área foliar por tallo (AFT) de caña de azúcar en la variedad LCP 85-384. Se midió durante el ciclo del cañaveral, en 1031 tallos, la altura de tallo al anillo de la hoja +1 (ALT+1) y se contó el número de hojas verdes liguladas por tallo (NHVt), determinando también la superficie foliar individual (AFi) de todas las hojas verdes. El área foliar observada por tallo (AFTO) resultó de la sumatoria del AFi de las hojas liguladas por tallo. Se evaluaron tres alternativas de estimación del AFT: en el Método 1, $x = \text{ALT}+1 * \text{NHVt}$; en el Método 2, $x = \text{AFi}_{(\text{hoja}+3)} * \text{NHVt}$ y en el Método 3, $x = \text{AFi}_{(\text{hoja}+3)} * \text{NHVt} * \text{ALT}+1$. Las ecuaciones de regresión se seleccionaron considerando el coeficiente de determinación (R^2), su significación estadística y la observación gráfica de los valores observados y calculados. Para el Método 1 se eligió la ecuación potencial $\text{AFT} = 6,791 x^{0,811}$ ($R^2: 0,951$); para el Método 2, el modelo lineal $\text{AFT} = 0,930 x$ ($R^2: 0,955$) y para el Método 3, la ecuación $\text{AFT} = 2,267 x^{0,522}$ ($R^2: 0,958$). Conociendo el número de hojas verdes liguladas por tallo y su altura al anillo de la hoja +1, y/o midiendo el área individual de la hoja+3, se puede estimar, durante todo el ciclo del cultivo, el área foliar por tallo de la variedad LCP 85-384, de manera no destructiva, rápida y precisa.

Palabras clave: *Saccharum* spp., técnicas no-destructivas, modelos de regresión.

ABSTRACT

Non-destructive methods for estimating leaf area per stalk in LCP 85-384 sugarcane variety

Non-destructive methods for estimating leaf area per stalk (AFT) in LCP 85-384 sugarcane variety were adjusted. During crop cycle, 1031 stalks were studied in terms of height with respect of leaf +1 dewlap (ALT+1) and number of green ligulated leaves (NHVt), and individual foliar surface (AFi) of all green leaves per stalk was determined. The observed leaf area per stalk (AFTO) turned out to be the sum of AFi values of all green ligulated leaves per stalk. Three alternatives for estimating AFT were evaluated: in Method 1, $x = \text{ALT}+1 * \text{NHVt}$; in Method 2, $x = \text{AFi}_{(\text{leaf}+3)} * \text{NHVt}$ and in Method 3, $x = \text{AFi}_{(\text{leaf}+3)} * \text{NHVt} * \text{ALT}+1$. Regression equations were selected considering the coefficient of determination (R^2), its statistical significance and the graphic display of observed and calculated values. The equation chosen for Method 1 was $\text{AFT} = 6.791 x^{0.811}$ ($R^2: 0.951$); for Method 2, $\text{AFT} = 0.930 x$ ($R^2: 0.955$) and for Method 3, $\text{AFT} = 2.267 x^{0.522}$ ($R^2: 0.958$). Finding out the number of green ligulated leaves per stalk and stalk height with respect of leaf +1 basal ring, and/or measuring leaf +3 individual foliar area constitute methods which allow estimating leaf area per stalk in LCP 85-384 sugarcane variety during the whole crop cycle, in a non-destructive, quick and accurate manner.

Key words: *Saccharum* spp., non-destructive techniques, regression models.

*Sección Caña de Azúcar, EEAOC. agronomia@eeaoc.org.ar.

INTRODUCCIÓN

La determinación del área foliar constituye un parámetro fundamental en la evaluación del desarrollo y crecimiento de los cultivos, en estudios de requerimientos hídricos y eficiencia bioenergética y en la determinación de daños producidos por patógenos y plagas. Además, por su estrecha relación con la intercepción de la radiación solar, con la fotosíntesis y con el proceso transpiratorio, aspectos fuertemente vinculados a la acumulación de biomasa y a la productividad, constituye una información básica para la modelización del crecimiento, desarrollo y rendimiento agronómico de los cultivos (Elings, 2000; De Oliveira *et al.*, 2007).

Para la medición del área foliar se dispone de variados procedimientos destructivos y no destructivos, cuya elección dependerá de las características del cultivo, de la cantidad de material a evaluar, del tamaño de las muestras, del nivel de precisión requerido y de las disponibilidades de tiempo, personal y equipos. De este contexto surge la necesidad de generar métodos no destructivos, simples, de bajo costo y técnicamente precisos para medir el área foliar por planta. A tal efecto, el empleo de modelos de regresión, establecidos entre una o más variables simples medidas en la planta y su área foliar real, acelera sensiblemente el tiempo de las determinaciones, reduce el esfuerzo y los costos y permite trabajar con una precisión adecuada evitando la destrucción del material, el que se puede muestrear varias veces a lo largo del tiempo (Elings, 2000).

En caña de azúcar, por la cantidad y tamaño de sus hojas, resulta especialmente importante disponer de técnicas operativamente rápidas, simples y precisas. García y Mariotti (1990), trabajando con siete clones de caña de azúcar, señalan que el área foliar/tallo puede ser estimada mediante el conteo del número de hojas verdes y la altura del tallo al anillo de la hoja +1.

Estudios realizados en caña de azúcar en Cuba, citados por Ferrer Reyes (2006), señalan la factibilidad de estimar el área foliar por tallo a partir de ecuaciones lineales que involucran la superficie foliar individual de la hoja+3 o de la hoja verde de mayor dimensión. Asimismo, Ferrer Reyes (2006) estima el área foliar/tallo en 12 variedades de caña de azúcar a partir de un modelo que incluye el número de hojas verdes por tallo y el área individual de la hoja 0 y de la última hoja verde.

En Brasil, De Oliveira *et al.* (2007) determinan el área foliar por tallo en caña de azúcar mediante una ecuación establecida a partir del número de hojas verdes expandidas (a partir de la hoja +1) por tallo y del área de la hoja +3.

El objetivo de este trabajo fue ajustar métodos no destructivos para estimar el área foliar por tallo de caña de azúcar en la variedad LCP 85-384, cultivar de máxima difusión comercial en el área cañera de Tucumán (Cuenya *et al.*, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material evaluado (variedad LCP 85-384) provino de ensayos implantados con la variedad LCP 85-384 del Subprograma Agronomía de la Caña de Azúcar realizados en el ciclo 2001/2002, ubicados en el campo experimental de la Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombes" (EEAOC), Las Talitas - Tucumán (26° 48' S, 65° 12' O), Argentina.

Los muestreos se realizaron en 10 fechas sucesivas, entre principios de enero y junio del 2002 y con una frecuencia de 15 a 30 días, trabajando en cada oportunidad sobre tres a cinco parcelas distribuidas aleatoriamente en el campo, constituidas por tres surcos (distanciados a 1,6 m) de 1 m de largo. Las evaluaciones efectuadas en las progresivas fases fenológicas, permitieron incluir una amplia variación en la población de tallos por metro lineal, en el crecimiento caulinar y en el desarrollo y la expansión foliar.

En cada muestreo y en todos los tallos del surco central de cada parcela, se determinaron la altura de tallo al anillo de la hoja +1 (ALT+1) y el número de hojas verdes liguladas por tallo (NHVt). Además, en cada hoja verde expandida, numerada según la nomenclatura de Kuijper, citada por Ferrer Reyes (2006), se midió el largo y ancho máximo de la lámina a fin de calcular su área foliar individual (AFi), según la ecuación ajustada para LCP 85-384 por Brito *et al.*, 2003. El área foliar observada por tallo (AFTO) se obtuvo de la sumatoria del AFi de las hojas verdes.

Se midieron en total 1031 tallos de caña de azúcar, incluyendo un rango de variación entre 19 y 47 tallos por metro lineal, de 2,5 a 260 cm en la altura, entre 1 y 11 hojas verdes expandidas por tallo y de 0,8 a 3985 cm² en el área foliar por tallo.

En un primer análisis se correlacionó el área foliar individual de la hoja +1 a la hoja+5 respecto del AFTO, a fin de identificar cuál de estas evidenciaba la mejor asociación para incorporarla en el modelo.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis de correlación para cada una de las hojas verdes liguladas con el área foliar total por tallo. Puede observarse que todas muestran una correlación altamente significativa con el AFTO. Finalmente, se eligió para incorporar a los modelos de regresión el AFi de la hoja+3, teniendo en consideración su elevado R², que cuenta con antecedentes específicos de su utilización en caña de azúcar (Ferrer Reyes, 2006 y De Oliveira *et al.*, 2007) y que permitiría utilizar el modelo desde un estadio fenológico temprano del cultivo (inicio - mediados del macollaje).

Para seleccionar los mejores modelos de estimación del área foliar por tallo (AFT), se sometieron a análisis de regresión lineal y no lineal respecto del AFTO, distintas combinaciones de los datos de altura, número de hojas verdes/tallo y área foliar individual de las hojas según su posición en el tallo.

Tabla 1. Asociación entre el área foliar individual de las sucesivas hojas verdes liguladas y el área foliar por tallo.

AFi vs AFTO	nº datos	R ²
+1	1018	0,720***
+2	991	0,803***
+3	932	0,868***
+4	857	0,873***
+5	826	0,821***
+6	758	0,758***

Con la información obtenida se seleccionaron para su evaluación tres alternativas para establecer la variable independiente de los modelos de estimación del AFT. Método 1: con $x = \text{ALT} + 1 * \text{NHVt}$; Método 2: con $x = \text{NHVt} * \text{AFi}(\text{hoja} + 3)$ y Método 3: con $x = \text{ALT} + 1 * \text{NHVt} * \text{AFi}(\text{hoja} + 3)$.

Las ecuaciones de mejor ajuste fueron seleccionadas considerando el valor y la significación del coeficiente de determinación (R^2), su significación estadística según el "Test F" y la observación gráfica de la variabilidad de los valores observados y calculados.

RESULTADOS

Método 1

Utilizando como variable independiente el producto entre la altura de tallo y el número de hojas verdes por tallo ($\text{ALT} + 1 * \text{NHVt}$), variables medidas rutinariamente en la evaluación del desarrollo y crecimiento de cultivo y que no exigen prácticamente ningún esfuerzo operativo adicional, se estableció como la ecuación de mejor ajuste al modelo potencial, que se presenta en la Figura 1.

Este método tiene una elevada precisión ($R^2 > 0,95$) y muestra, en el rango del AFT considerada, una distri-

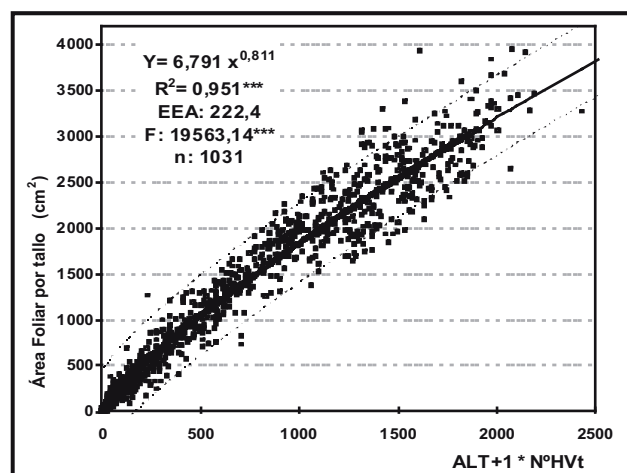


Figura 1. Modelo de regresión de estimación del área foliar por tallo en LCP 85-384, en función del producto de la altura y el número de hojas verdes liguladas por tallo. Se incluyen el error estándar del ajuste (E.E.A.) y el número de datos analizado. Se muestran los límites fiduciales de predicción.

bución bastante homogénea de los residuos. El modelo elegido permite estimar el área foliar por tallo desde la emergencia, fase inicial del ciclo del cultivo.

Método 2

En esta alternativa, la variable independiente queda definida mediante el producto del número de hojas verdes liguladas por tallo y el área foliar de la hoja +3 ($\text{AFi}(\text{hoja} + 3)$).

En este caso la función matemática de mejor ajuste correspondió al modelo lineal, que se presenta en la Figura 2.

El ajuste es elevado y altamente significativo, con un E.E.A. más bajo que el obtenido con el Método

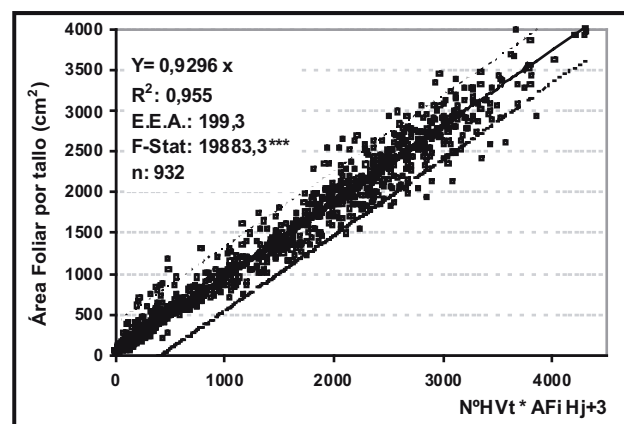


Figura 2. Modelo de estimación del área foliar por tallo en LCP 85-384, en función del producto del número de hojas verdes liguladas por tallo y la superficie foliar de la hoja +3. Se incluyen el error estándar del ajuste (E.E.A.) y el número de datos analizados. Se muestran los límites fiduciales de predicción.

1. Sin embargo, esta alternativa metodológica puede utilizarse a partir de la generalización del macollaje y en tallos que cuenten con tres o más hojas verdes liguladas. Además, el requerimiento de tiempo es algo mayor al exigir la tarea adicional de medir en cada tallo de la muestra y sus réplicas, el largo y ancho máximo de la lámina de la hoja +3, además del número de hojas verdes por tallo.

Método 3

En esta tercera alternativa, la variable independiente queda definida mediante el producto entre la altura de tallo al anillo de la hoja +1, el número de hojas verdes liguladas por tallo y el área foliar de la hoja +3 ($\text{AFi}(\text{hoja} + 3)$). La ecuación matemática de mejor ajuste correspondió al modelo potencial, que se muestra en la Figura 3.

El nivel de ajuste es elevado y altamente significativo, con un E.E.A. bajo respecto de los modelos seleccionados. Sin embargo esta alternativa, al igual que en el Método 2, puede utilizarse a partir de la gene-

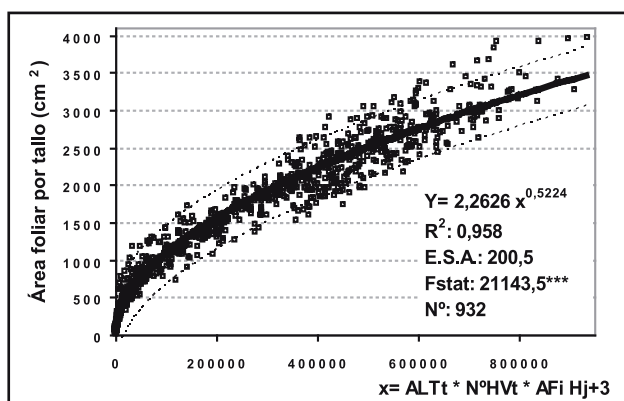


Figura 3. Modelo de estimación del área foliar por tallo en LCP 85-384, en función del producto de la altura de tallo, con el número de hojas verdes liguladas por tallo y con la superficie foliar de la hoja +3. Se incluyen el error estándar del ajuste (E.E.A.) y el número de datos analizados. Se muestran los límites fiduciales de predicción.

realización del macollaje y en tallos que cuenten con tres o más hojas verdes liguladas. Asimismo, necesita un tiempo operativo algo mayor al requerir la medición adicional, a la altura y el número de hojas verdes liguladas por tallo, del largo y ancho máximo de la lámina de la hoja +3.

Por lo tanto, determinando el número de hojas verdes liguladas por tallo y su altura al anillo de la hoja +1 y/o adicionando la medición del área individual de la hoja +3 de cada tallo, se puede estimar de manera no-destructiva, rápida y con elevada precisión, el área foliar por tallo de LCP 85-384, durante las distintas fases del ciclo del cañaveral. Los modelos propuestos

son simples, precisos y operativamente prácticos en la toma de datos.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Brító, E.; E. R. Romero; S. Casen y L. Alonso. 2003.** Estimación no destructiva del área foliar de hojas individuales de caña de azúcar, variedad LCP 85-384. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 80 (1-2): 1 - 4.
- Cuenya, M.; E. Chavanne; S. Ostengo; M. Espinosa; M. Ahmed; D. Costilla; A. Armanini y M. García. 2005.** Variedades de caña de azúcar en Tucumán: estimación de su distribución en el área de cultivo en la campaña 2004/2005. *Avance Agroind.* 26 (2): 8-12.
- De Oliveira, R. A.; E. Daros; J. L. Camargo Zambon; H. Weber; O. Teruyo Ido; J. C. Bessalho-Filho; K. C. Zuffellato-Ribas e D. K. Tramuja da Silva. 2007.** Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. *Pesq. Agropec. Trop.* 37 (2): 71-76.
- Elings, A. 2000.** Estimation of leaf area in tropical maize. *Agron. J.* 92: 436-444.
- Ferrer Reyes, M. 2006.** Estimación del área foliar en caña de azúcar. [En línea]. Disponible en www.ilustrados.com/publicaciones/EEyVlukEFyZQzQyONk.php. (consultado 07 febrero 2007).
- García, M. B y J. A. Mariotti. 1990.** Estimación del área foliar por hoja y por tallo en siete clones de caña de azúcar. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 67 (1): 119-127.