

Artículo científico

Estimación no destructiva del área foliar por planta en sorgos bioenergéticos

Non-destructive estimation of the leaf-area per plant in bioenergetics sorghum

R. Interdonato*; J.I. Romero; S.S. Bas Nahas; J.O. Roberti; J.A. Rodríguez Rey; E.R. Romero.

Cátedra de Fisiología Vegetal - FAZ. UNT.

Florentino Ameghino s/n. Finca El Manantial, (4000) Tucumán, Argentina.

*Autor de correspondencia: roqueint@yahoo.com.ar

Resumen

En este trabajo se ajusta un método no destructivo para estimar el área foliar por planta de dos híbridos comerciales de sorgos bioenergéticos. Se midió durante el ciclo del cultivo la altura al anillo de la hoja +1 y el número de hojas verdes liguladas por planta en 103 plantas de los híbridos Argensil Bio 165 y en 151 de Padrillo. Se determinó también la superficie foliar individual de todas las hojas verdes. El área foliar observada por planta resultó de la sumatoria de la superficie foliar individual del total de hojas verdes liguladas por planta. Los datos del área foliar observada por planta en función del producto de la altura al anillo de la hoja +1 por el número de hojas verdes liguladas por planta se sometieron a un análisis de regresión para determinar en cada híbrido la ecuación de mejor ajuste. Se aportan modelos de regresión específicos para estimar, mediante una metodología no destructiva, sencilla y precisa, el área foliar por planta durante las distintas fases fenológicas de dos híbridos comerciales de sorgo azucarado con potencial bioenergético. Las ecuaciones específicas seleccionadas para cada híbrido fueron: Padrillo: $y = 7,488 x^{0,822}$ ($R^2: 0,959$); Argensil: $y = 6835,971/(1+(x/1084,373)^{-1,113})$ ($R^2: 0,957$).

Palabras clave: sorgo bioenergético, área foliar, modelos de regresión.

Summary

In this work a non-destructive method to estimate the leaf-area per plant of two commercial hybrids of bioenergetics sorghum is adjusted. During the crop cycle 03 plants of Argensil Bio 165 and at 151 hybrids of Padrillo the height to the ring of leaf +1 and the number of green ligulate leaves per plant was measured from, and also determined the individual leaf surface of all green leaves. The observed leaf-area per plant was the result of the sum of the individual leaf surface from the total of green ligulate leaves per plant. The data of the leaf-area observed per plant in function of the multiplication of the height to the ring of the leaf +1 by the number of green ligulate leaves per plant were analyzed by regression to determine the best adjustment equation for each hybrid. Specific regression models are presented to estimate the leaf-area per plant during the different phenological stages of two commercial hybrids of sweet sorghum with bioenergetics potential by means of a non-destructive, simple and accurate methodology. The specific equations selected for each hybrid were; Padrillo: $y = 7,488 x^{0,822}$, ($R^2: 0,959$); Argensil: $y = 6835,971/(1+(x/1084,373)^{-1,113})$, ($R^2: 0,957$).

Keywords: bioenergetic sorghum, leaf-area, regression models.

Introducción

La determinación del área foliar constituye un parámetro fundamental para evaluar el crecimiento y desarrollo de los cultivos en diferentes condiciones agroecológicas (Stikler *et al.*, 1961) por su estrecha relación con la intercepción de la radiación solar, la fotosíntesis y con el proceso transpiratorio, aspectos fuertemente vinculados a la acumulación de biomasa y a la productividad (Elings, 2000), como así también para comparar distintas

alternativas de manejo en campo: época, densidad y distancia de siembra, dosis de fertilizantes, entre otras (Quintero y Casanova, 2000).

Se dispone de diversos procedimientos destructivos y no destructivos para la estimación del área foliar cuya elección dependerá del cultivo, de la finalidad de la medición, del nivel de precisión, del número de determinaciones a realizar y principalmente del tiempo, infraestructura y los recursos económicos disponibles. A tal fin, para disminuir el tiempo operativo, costos y aumentar la capaci-

dad de trabajo, se emplean modelos de regresión, establecidos entre una o más variables simples medidas en la planta y su área foliar total, lo cual permite trabajar con una precisión adecuada evitando la destrucción del material, el que se puede muestrear varias veces a lo largo del tiempo (Brito *et al.*, 2007).

La difusión de cultivos energéticos, tanto en el ámbito nacional como regional, posiciona al sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) como una excelente alternativa por su elevado potencial para generar diferentes productos bioenergéticos (combustibles líquidos, sólidos, gaseosos y generación de energía eléctrica). El sorgo constituye un cultivo que se caracteriza por su gran adaptabilidad y buen comportamiento bajo condiciones edáficas y climáticas limitantes, siendo especialmente apto para regiones con baja pluviometría (Cárdenas y Romero, 2013).

Contar con métodos prácticos y no destructivos para determinar el área foliar por planta en sorgos bioenergéticos, facilitará la realización de investigaciones que permitan estudiar su comportamiento ecofisiológico y agronómico.

El objetivo de este trabajo fue ajustar un método no destructivo para la estimación del área foliar por planta en distintos estadios fenológicos en dos híbridos comerciales de sorgo azucarado, basado en modelos matemáticos simples estimados a partir de parámetros morfológicos como la altura y el número de hojas verdes liguladas por planta.

Materiales y métodos

Los materiales genéticos evaluados fueron dos híbridos comerciales de sorgo azucarado, Argensil 165 Bio de la empresa Argenetics y Padriillo de la empresa Tobin. Ambos materiales provinieron de un ensayo, en bloques al azar con tres réplicas que comparaba los híbridos citados, establecido por la Cátedra de Fisiología Vegetal en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT), ubicado en El Manantial, Depto. Capital, Tucumán, R. Argentina (26° 50' 6,9" S – 65° 16' 44,6" O). La siembra se realizó el 22 de diciembre de 2011, con una densidad de 12 plantas por metro lineal y a una distancia entre líneas de 52 cm.

Los muestreos se iniciaron el 7/01/2012 cuando las plantas establecieron tres hojas verdes liguladas (fase 1) y se repitieron cada 15 días en cinco oportunidades hasta que el cultivo alcanzó la fase 5, de planta embuchada (Sánchez Ducca *et al.*, 2012). Las evaluaciones efectuadas en los sucesi-

vos estadios fenológicos, permitieron incluir una amplia variación en el crecimiento de las plantas, como en el desarrollo y en la expansión foliar.

En cada fecha se extrajeron, de ambos híbridos, tres muestras al azar compuestas cada una por la totalidad de las plantas establecidas en un metro lineal.

Al momento del muestreo en cada planta extraída, de los 2 materiales evaluados, se determinó la altura del tallo a la primera hoja verde ligulada (ALT) y el número de hojas verdes liguladas por planta (NHVp). Además, en cada hoja verde expandida, se midió el largo y ancho máximo de la lámina a fin de calcular su área foliar individual (AFi), según el modelo para cada híbrido reportado por Roberti *et al.*, 2014. El área foliar observada por planta (AFpO) para cada caso se obtuvo de la sumatoria del AFi de las hojas verdes evaluadas por planta.

En total se evaluaron 103 plantas de Argensil 165 Bio y 151 de Padriillo. Para Argensil la muestra incluyó un rango de variación de 7 a 15 plantas por metro lineal, de 9,5 a 268 cm en la altura, de 3 a 12 hojas verdes expandidas por planta con una AFpO entre 49,8 a 4905,7 cm²/planta. En Padriillo, el rango de variación para el número de plantas por metro lineal fue entre 7 y 18, de 11,5 a 290 cm de altura, entre 2 y 11 hojas por tallo con un AFpO entre 15,9 a 5981,5 cm²/planta.

Para calcular el área foliar por planta (AFp) se asumió como variable independiente el producto de la altura del tallo por el número de hojas verdes y se evaluó dicha relación en la variación de los datos disponibles del AFpO en función del producto de la altura por número de hojas verdes liguladas/planta, según técnicas de análisis de regresión lineal y no lineal; utilizando Microsoft Excel® 2010.

Los modelos matemáticos de mejor ajuste fueron seleccionados considerando el valor y la significación del coeficiente de determinación (R²), la observación gráfica de la variabilidad de los valores observados y calculados, el menor número de parámetros involucrados en el modelo, el error cuadrático medio y el estadístico F.

Resultados y discusión

Híbrido Argensil 165 Bio

De los modelos de regresión evaluados, el que presentó el mejor ajuste en este híbrido fue el de tipo logístico (R² > 0,95) y con valores del estadístico F mayor y menor para el error cuadrático me-

dio con respecto al resto de los modelos. La distribución homogénea evidencia una baja dispersión de los datos observados (Figura 1). Este modelo permite estimar el área foliar por planta durante prácticamente todo el ciclo del cultivo.

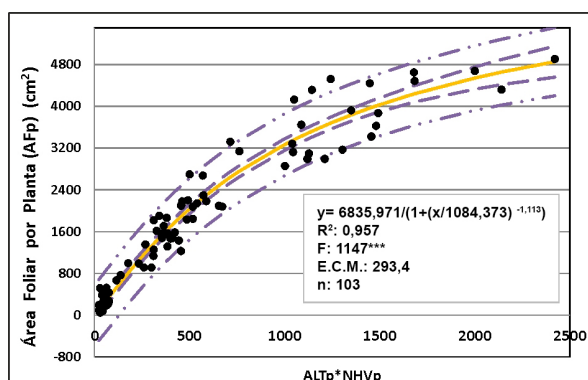


Figura 1. Modelo de regresión para la estimación del área foliar por planta en el híbrido comercial Argensil Bio 165, en función del producto de la altura y el número de hojas verdes liguladas por planta. Se incluye la ecuación de regresión, el error cuadrático medio del ajuste (E.C.M.), el número de datos analizados y el estadístico F con un nivel de significancia al 0,1%. Se muestran los intervalos de confianza (línea de trazo discontinua) y los límites fiduciales de predicción (línea de eje con 2 puntos) del 95 %.

Híbrido Padrillo

Como indica la Figura 2, en este híbrido el mejor ajuste le correspondió a un modelo potencial con elevados valores del coeficiente de determinación ($R^2 = 0,959$) y demás parámetros evaluados. Se advirtió una baja dispersión de los datos observados y, a diferencia del híbrido Argensil, el modelo presentó una mayor simplicidad, debido a que involucra una menor cantidad de parámetros en su ecuación.

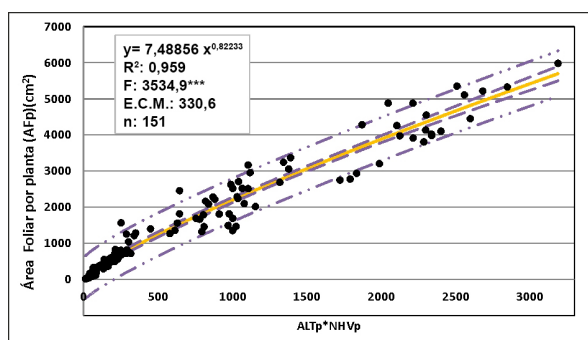


Figura 2. Modelo de regresión para la estimación del área foliar por planta en el híbrido comercial Padrillo, en función del producto de la altura y el número de hojas verdes liguladas por planta. Se incluye la ecuación de regresión, el error cuadrático medio del ajuste (E.C.M.), el número de datos analizados y el estadístico F con un nivel de significancia al 0,1%. Se muestran los

intervalos de confianza (línea de trazo discontinua) y los límites fiduciales de predicción (línea de eje con 2 puntos) del 95 %.

Conclusión

Los modelos propuestos permiten estimar el área foliar por planta a través de un método no destructivo basado en los datos de altura y del número de hojas verdes liguladas por planta. Estas variables medidas, durante el ciclo del cultivo desde las fases fenológicas iniciales, de manera simple y práctica, son rutinariamente realizadas en ensayos ecofisiológicos y/o de manejo para evaluar el desarrollo y crecimiento del cultivo y no exigen prácticamente, a los fines de la estimación del área foliar por planta, ningún esfuerzo operativo adicional.

Referencias bibliográficas

- Brito E., Romero E.R., Casen S., Alonso L., Digonzelli P. (2007). Métodos no destructivos de estimación del área foliar por tallo en la variedad LCP 85-384 de caña de azúcar. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 84: 29-32.
- Cárdenas G., Romero E.R. (2013). Potencial energético de sorgos alcohólicos y fibrosos. En: *Agrospot Online*, www.cpia.org.ar/agrospot/201308/nota7.html, consulta: junio 2014.
- Elings A. (2000). Estimation of leaf area in tropical maize. *Agronomy Journal* 92: 436-444.
- Quintero F., Casanova E. (2000). Evaluación del crecimiento del cultivar de sorgo Chaguaramas III bajo diversos niveles de fertilización con nitrógeno y fósforo en el estado Guarico, Venezuela. *Agronomía Tropical* 50: 285-302.
- Roberti J., Bas Nahas S., Romero J.I., Interdonato R., Budeguer R., Amado M.E., Rodríguez Rey J.A., Romero E.R. (2014). Métodos no destructivos de estimación del área foliar de hojas individuales en dos híbridos de sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, en prensa.
- Sánchez Ducca A., Casen S.D., Fernández González P.E., Tonatto J., Romero E.R. (2012). Caracterización fenológica del sorgo azucarado destinado a la producción de bioetanol de la generación. *Avance Agroindustrial* 33: 37-42.
- Stickler F.C., Wearden S., Pauli A. (1961). Leaf area determination in grain sorghum. *Agronomy Journal* 53: 187-188.