



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Modelo para estimar el área foliar de colza (*Brassica napus* L. var. *Oleifera* D.C.) a partir de mediciones lineales



Silvia Ramírez¹; Mónica Barufaldi²; Adriana Confalone³

¹ Alumna de la carrera Ingeniería Agronómica., FA-UNCPBA, Azul, BA, Argentina

² Ing. Agr., JTP, FA- UNCPBA, Azul, BA, Argentina

³ Ing. Agr., Prof. Adj., FA- UNCPBA, Azul, BA, Argentina, Tel: (54) 2281-433291/93, aec@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN: Métodos exactos y no destructivos para determinar áreas de hojas individuales de plantas son una herramienta útil en la investigación agrometeorológica. La determinación del área foliar individual de colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.) implica mediciones de los parámetros de la hoja, tales como largo (L) y ancho (A) o alguna combinación de esos parámetros. El análisis de regresión del área foliar *versus* L y A reveló varios modelos que podrían ser utilizados para estimar el área de hojas individuales de colza. Un modelo lineal que tiene LxA como variable independiente, proporciona la estimación más precisa (el mayor R² y el menor error cuadrático medio) del área foliar de colza.

Palabras-clave: área foliar, métodos no destructivos, colza.

Leaf area estimation model for rapeseed (*Brassica napus* L. var. *Oleifera* D.C.) from linear measurements

ABSTRACT: Accurate and nondestructive methods to determine individual leaf areas of plants are a useful tool in agro-meteorological research. Determining the individual leaf area of rapeseed (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.) involves measurements of leaf parameters such as length (L) and width (A) or some combinations of these parameters. Regression analysis of leaf area *versus* L and A revealed several models that could be used for estimating the area of individual rapeseed leaves. A linear model having LxA as the independent variable provided the most accurate estimate (the highest R² and the smallest mean square errors) of rapeseed leaf area.

Key words: leaf area, nondestructive methods, rapeseed.

INTRODUCCIÓN

El área foliar es un parámetro de interés para la investigación agrometeorológica ya que es un determinante importante de la intercepción de luz y por consiguiente de la transpiración, fotosíntesis, y la productividad de la planta (GOUDRIAAN y VAN LAAR, 1994). Diversos estudios han demostrado la importancia de este parámetro en la estimación de crecimiento de los cultivos, la tasa de desarrollo, el potencial de rendimiento, eficiencia en el uso de radiación, y el agua y el uso de nutrientes, balance de energía y su aplicación en modelos de crecimiento de cultivos (WILLIAMS y MARTINSON, 2003).

El área foliar puede ser medida por métodos destructivos o no destructivos. Estimar el área de las hojas requiere de instrumental costoso y en la mayoría de los métodos se deben cortar las hojas, lo que destruye el dosel (cubierta o canopeo del cultivo). Por lo tanto, contar con un método no destructivo, utilizando mediciones lineales entre largo y ancho de las hojas, puede ser beneficioso (FALLOVO *et al.*,

Modelos que relacionan la longitud y/o el ancho de la hoja se han desarrollado para diversos cultivos extensivos que son comunes en la región Pampeana, como el maíz (MONTGOMERY, 1911; STEWART y DWYER, 1999); sorgo (STICKLER *et al.*, 1961); trigo (RAO *et al.*, 1967; MIRALLES y SLAFER, 1991); soja (ADAMI *et al.*, 2008; BAKHSHANDEH *et al.*, 2011; RITCHER *et al.*, 2014); girasol (KVET y MARSHALL, 1971; MALDANER *et al.*, 2009).

La colza es una especie oleaginosa perteneciente a la familia de las crucíferas. Durante la segunda guerra mundial el bloqueo impuesto a Europa y Asia, principales productores de aceite de colza en ese momento, hizo que se introduzca y desarrolle el cultivo en Canadá siempre con la finalidad de obtener aceites lubricantes. Desde Argentina fueron llevadas las primeras semillas de Brassica napus a Canadá, donde fue seleccionada, motivo por el que se ha difundido por todo el mundo también con el nombre de Canola (Canadian Oil) (IRIARTE, 2002).

La incorporación del cultivo de colza en los esquemas de producción de la Argentina presenta ventajas tanto para el productor como para la industria aceitera ya que se trata de una oleaginosa invernal, mientras la base de la producción de aceites en el país está dada por cultivos verano (IRIARTE y LOPEZ, 2014). Este es el motivo por el cual puede ser de interés y utilidad contar con estimaciones del área foliar en esta oleaginosa de invierno.

El objetivo de este trabajo fue obtener un modelo lineal para estimar el área foliar de hojas individuales de colza, por medio de mediciones simples como son el largo (L) y ancho (A) de cada hoja, evitando métodos destructivos y/o el uso de instrumental costoso.

MATERIAL Y MÉTODO

El cultivo de colza (*Brassica napus* L. var. *Oleifera* D.C.) cv. Legacy, de la empresa Don Atilio, variedad de tipo primaveral, se realizó en la Facultad de Agronomía (latitud: 36°45'S; longitud: 59°57'W, altitud: 132 m s. n. m.) durante el año 2014 sobre un suelo Argiudol somero sobre tosca, realizándose fertilización fosforada y control de malezas. El diseño experimental empleado consistió de bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones.

Se cosecharon 120 hojas a partir del estado de roseta, en forma secuencial y una vez por semana, las que fueron fotografiadas con una cámara fotográfica digital Kodax, obteniéndose imágenes de 5 megapíxeles de alta resolución.

Las hojas se fotografiaron sobre un fondo de color rosado con una línea de referencia de 2 cm de longitud, dibujada al lado del sitio de ubicación de las hojas. Para extender las hojas completamente, se cubrieron con un vidrio transparente de 15 x 20 cm y 3 mm de espesor, de superficie esmerilada para evitar brillos (GUERRERO *et al.*, 2012).

Para el análisis de imágenes se utilizó el software libre ImageJ (RASBAND, 2007), que permite determinar el área de objetos gráficos en los que se introduce una referencia de tamaño conocido. En primer término, se realizó una calibración utilizando cuadrados de papel verde de áreas previamente conocidas. Posteriormente, se utilizaron las fotografías de hojas de plantas de colza.

Se realizaron análisis de regresión lineal simple utilizando en todos los casos el área foliar como variable dependiente y como variable independiente se consideraron: a) el largo (L) de cada hoja, siguiendo la nervadura central; b) el ancho máximo de cada hoja (A) y c) el producto del largo y ancho (LxA) de cada hoja.

Los análisis estadísticos se realizaron con el software Statistix v.8.0 para Windows. (ANALYTICAL SOFTWARE, 2003). El modelo final se seleccionó sobre la base de la combinación del más alto R² (coeficiente de determinación) y el MSE (error cuadrático medio) más bajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

El análisis de regresión demostró relaciones muy consistentes ($P < 0,001$) entre el área foliar de cada hoja con la longitud, (L), ancho máximo de la hoja (A) y el producto de la longitud y el ancho (LxA).

En la Tabla 1 se pueden ver los parámetros de los modelos, así como el coeficiente de determinación (R^2) y el error cuadrático medio (MSE) para los tres modelos de regresión simple.

La ecuación que presenta el mejor ajuste es la que utiliza como variable independiente el producto del largo y ancho de cada hoja (mayor R^2 y menor MSE). Los otros modelos, conteniendo únicamente mediciones de largo y ancho no pueden ser desestimados, siendo el largo (L) de la hoja la variable que más se relaciona con el área total de la hoja en comparación con el modelo que utiliza el ancho como variable independiente, que resultó tener el menor R^2 de los modelos cuando es forzado a pasar por el origen ($R^2 = 0,883$).

El ajuste de los datos a las rectas de regresión puede ser observada en la Figura 1. En ella se muestran los tres casos de variables independientes analizados, conteniendo la constante de la regresión y la eliminación de la misma al forzar a la recta a pasar por el origen.

Tabla 1. Estadísticas y estimaciones de los parámetros de los modelos de regresión para la estimación del área foliar considerando ancho, largo y LxA como variables independientes, con el valor del intercepto o constante de la regresión y también forzando al modelo a pasar por el origen.

Variable independiente	Modelo	a	b	R^2	MSE	P > F
Ancho (A)	Area = a + b.A	-26,513	12,500	0,913	52,123	0,000
	Area = b.A	-----	7,372	0,883	161,635	0,000
Largo (L)	Area = a + b.L	-15,524	5,763	0,910	54,205	0,000
	Area = b.L	-----	4,168	0,922	107,898	0,000
Largo x Ancho (L.A)	Area = a + b (L.A)	0,5827	0,690	0,992	4,736	0,000
	Area = b (L.A)	-----	0,698	0,996	4,847	0,000

Los resultados muestran que podría eliminarse la constante de la regresión. Por lo tanto, el modelo que mejor estima el área foliar en plantas de colza es:

$$\text{Área Foliar} = (\text{Largo} \times \text{Ancho}) \cdot 0,698$$

Este modelo presenta un coeficiente de determinación más alto y menor error cuadrático medio ($R^2 = 0,996$ y un MSE = 4,847) en comparación con la ecuación que contiene la constante, cuyos estimadores de ajuste son: $R^2 = 0,992$ y MSE = 4,736



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



Además, a fines prácticos y sin introducir un error significativo, no podemos dejar de considerar el modelo que contiene únicamente la medición del largo de la hoja, ya que simplificaría la tarea de medición.

En ese caso, el segundo modelo que mejor ajuste presenta es:

$$\text{Área foliar} = \text{Largo} \cdot 5,736 - 15,524$$

Este modelo, que incluye la constante de la regresión, presenta menor error que el que es forzado a pasar por el origen.

Si bien en este trabajo se consideró sólo un cultivar de colza y el modelo seleccionado aún no ha sido probado con datos independientes, los resultados encontrados se muestran promisorios para ser utilizados por los investigadores, debido a la facilidad de las dimensiones que deben ser tomadas, lo que evita la destrucción de las hojas y/o la utilización de instrumental costoso.

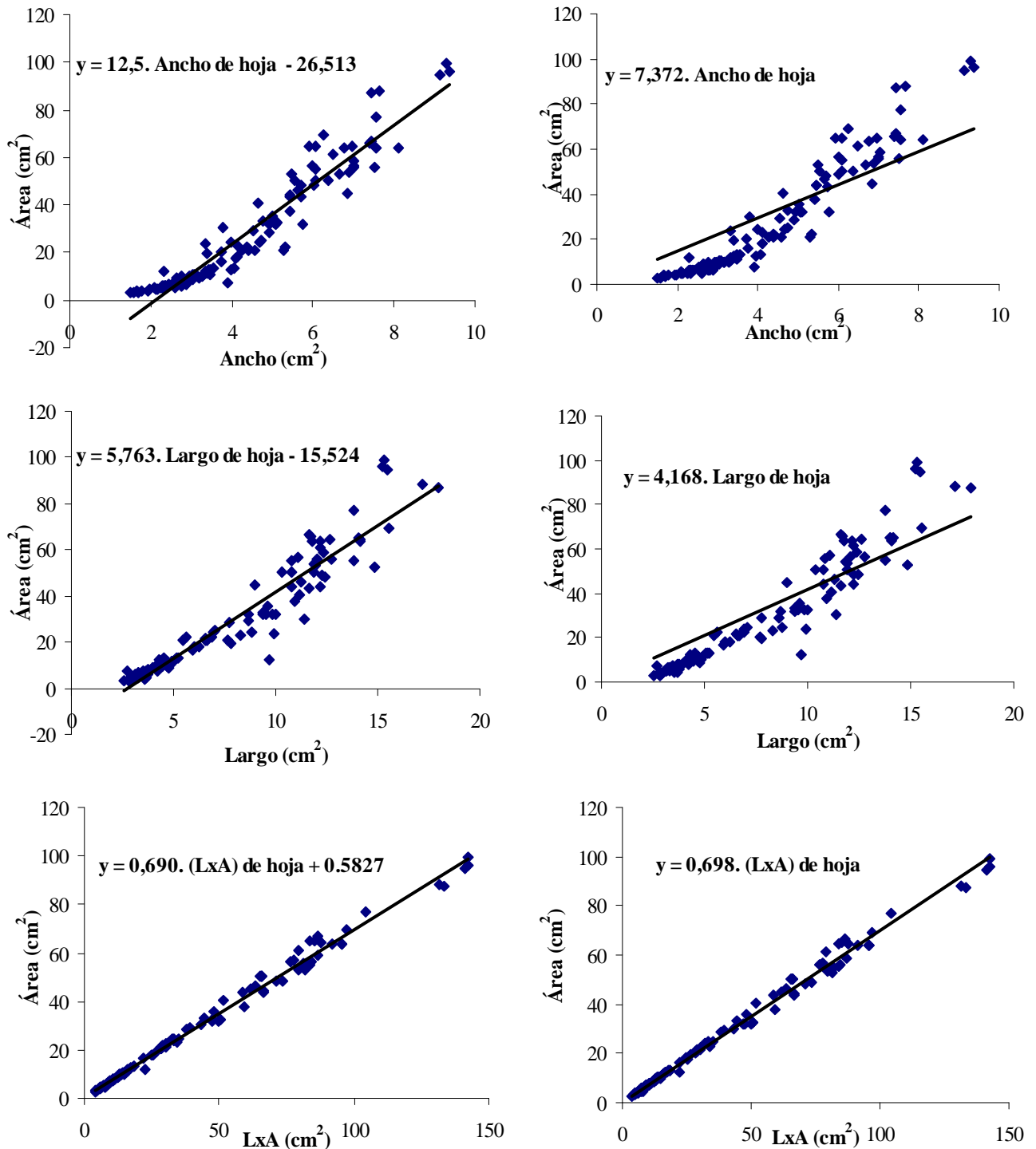


Figura 1. Área foliar de hojas de colza en función de: ancho, largo y producto de largo y ancho de las hojas de colza. El ajuste a las ecuaciones de regresión lineal simple se presentan con el coeficiente a de la regresión (izquierda) y forzándolas a pasar por el origen (derecha).



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia
23 a 28 de agosto de 2015
Lavras – MG – Brasil
Agrometeorologia no século 21:
O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



CONCLUSIONES

El modelo de producto del largo y el ancho de cada hoja proporciona estimaciones precisas del área foliar de colza. Debido a que el ancho y el largo de una hoja son dimensiones que se pueden medir fácilmente en los experimentos de campo e invernadero, el uso de este modelo permitirá a los investigadores realizar mediciones no destructivas o mediciones repetidas en las mismas hojas.

El modelo que considera sólo el largo de la hoja también puede ser utilizado.

Estos modelos permiten estimar con precisión el área de las hojas sin el uso de instrumentos costosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M. *et al.* Estimativa de área de folíolos de soja Usando imagens Digitais e Dimensões foliares. **Bragantia**. v.67, p.1053-1058. 2008.
- ANALYTICAL SOFTWARE. 2003. **Statistix 8 for Windows**. Analytical Software. Tallahassee, FL. 2003.
- BAKSHANDEH, E. *et al.* La aplicación de modelos lineales para la estimación del área foliar en soja [*Glycine max* (L.) Merr]. **Photosynthetica**, v.49, p. 405-416. 2011.
- FALLOVO, C. *et al.* Leaf Area Estimation Model for Small Fruits from Linear Measurements. **HortScience**. v.43, p. 2263-2267. 2008.
- GOUDRIAAN, J., VAN LAAR, H. **Modeling potential crop growth processes** (Kluwer Academic publishers, Dordrecht, The Netherlands). 1994. 235p.
- GUERRERO, N. *et al.* Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional. **Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín**. v.65, p.6399-6405. 2012.
- IRIARTE, L. B. 2002. **Cultivo de colza: Phoma**. Chacra experimental Integrada Barrow- Convenio INTA- Ministerio de Asuntos Agrarios –Pcia. de Buenos Aires, pp. 3.
- IRIARTE, L., LOPEZ, Z. El cultivo de colza en Argentina. Situación actual y perspectivas. En: PRIMER SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CANOLA. 2014. **Actas...**, Passo Fundo, Brasil. 2014.
- KVET, J., MARSHALL, J. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces in SESTAK, Z., J. CATSKY, J. Y JARVIS, P. (Eds) **Plant Photosynthetic Production**. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands, 1971, p.517–555.
- MALDANER, I., HELDWEIN, A. *et al.* Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**. v.39, p.1356-1361. 2009.
- MIRALLES, D. Y G. SLAFER. A simple model for non-destructive estimates of leaf area in wheat. **Cereal Research. Communications**. v.19, p.439-444. 1991.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



RAO, Y. *et al.* A constant for calculating leaf area of mexican dwarf wheats. **Indian Journal of Science and Industrial Research**. v.1, p.151-153. 1967.

RASBAND, W. 2007. **ImageJ**, US National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://rsbweb.nih.gov/ij/>; consulta: diciembre 2014.

RICHTER, G.*et al.* La estimación del área foliar de cultivares de soja modernos por un método no destructivo. **Bragantia**. v. 73, p. 416-425. 2014.

STICKLER, F. *et al.* Leaf area determination in grain sorghum. **Agronomy Journal**. 53: 187-188. 1961.

WILLIAMS, L., MARTINSON, T. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. **Scientia Horticulturae**. v.98, p.493-498. 2003.