

Modelo para Estimación del Área Foliar en Higuera (*Ficus Carica*) Mediante Muestreo No Destructivo

Domínguez-López, René F¹., Galindo-Reyes, Manuel A²., Macías-Valdez, Luis M²., Rodríguez-García, Héctor D¹., Zarzosa-Vega, Ricardo F¹., Quiroz-Andrade, Fabián J¹., López-Álvarez, Yadira F¹., Muñoz-De la Cruz, Fabiola C¹

¹Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, Dirección Académica de Desarrollo de Negocios y Agricultura Sustentable y Protegida. Av. Universidad 1001. Estación Rincón, Rincón de Romos, Aguascalientes., México, C.P. 20400, rene.dominguez@utna.edu.mx

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo experimental Pabellón. Km 32.5 Carretera Aguascalientes – Zacatecas Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. México. C.P. 20660 tel. 800 088 2222 ext. 8250.

Resumen

La presente investigación se realizó en la localidad de San Luis de Letras, que pertenece al municipio de Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. A 1900 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 17.4 °C, y una precipitación media anual de 526 mm, con la finalidad de obtener una ecuación que permitiría estimar el área foliar a partir de un muestreo no destructivo. Mediante un muestreo aleatorio simple, se seleccionaron hojas sanas de varias plantas adultas en tres diferentes estratos y distintas etapas de desarrollo de las hojas. Se tomaron medidas longitudinales (largo y ancho de la hoja). Se desarrollaron modelos de regresión lineal simple y ordenada al origen para luego seleccionar la ecuación No. 11, $AF = 0.5163 L^2$, debido a que su aplicación es de fácil manejo para futuras investigaciones en este cultivo, ya que tuvo un $R^2 = 0.9950$, superior a las otras regresiones, con un C.M.E de 446.290 y un C.V. de un 7.522.

Palabras clave— Área foliar, *Ficus carica*, hojas, modelo de regresión.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de higo (*Ficus Carica*) es un fruto delicioso y succulento que es apreciado en casi todo el mundo por sus aportes nutricionales, su consumo en fresco o en sus productos derivados de procesos agroindustriales que son aplicables al fruto, botánicamente el higo se considera una inflorescencia ya que sus flores nacen agrupadas dentro de una vaina en forma de pera las cuales después de un tiempo maduran para luego convertirse en el fruto que se consume y es conocido como higo. Mientras tanto México ocupa el lugar número 22 a nivel mundial con aproximadamente 1,200 hectáreas con una producción anual mayor a las 6,000 toneladas de higo fresco, las cuales tienen un valor colindante con los 48 millones de pesos. Las entidades que participan en la producción de higo son Morelos (53%), Veracruz (19%), Baja California sur (10%), Puebla (7.4%), Hidalgo (3.7%), Durango (1.2%), Ciudad de México (1.1%), Jalisco (1.1%), Zacatecas (0.4%) y San Luis Potosí (0.3%). Todo esto según estudios del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). A nivel estatal Aguascalientes no destaca y no cuenta con una producción extensiva de higos y tampoco con datos oficiales emitidos por organizaciones gubernamentales que certifiquen que Aguascalientes este comenzando a establecer superficies para trabajar y cultivar este fruto. Las hojas, constituyen el órgano más importante de la planta y juega un papel importante en las actividades anabólicas por medio de la clorofila, que poseen en abundancia, único medio para los procesos fotosintéticos. El área foliar total, que ha sido directamente relacionada con la cantidad de clorofila, es un parámetro importante para estimar la habilidad de la planta para sintetizar materia seca [1]. Los métodos directos de

medición de área foliar están restringidos al uso de los equipos automáticos costosos; el empleo de planímetros resulta muy tedioso y en algunos experimentos, el tiempo es insuficiente para realizar tales mediciones. La estimación del área foliar a través de los modelos matemáticos, con mediciones directas en las hojas, es bastante preciso, económico y no destructivo [2]. El uso de modelos o ecuaciones matemáticas a partir de medidas lineales de una estructura foliar para predecir su área donde se realiza la fotosíntesis se han utilizado en diversos estudios de crecimiento y el crecimiento de varias especies agrícolas, siendo algunas de las medidas más comunes tenidas en cuenta en los modelos de estimación la longitud, ancho de la hoja, la longitud y diámetro del peciolo o la combinación entre estas variables [3]–[5]. Los modelos o métodos no destructivos se sustentan en mediciones lineales que son fáciles, rápidas de medir y permiten una precisión en estudios de crecimiento de especies vegetales, donde el modelo matemático puede obtenerse por la correlación entre la longitud (L), ancho (A), o longitud por el ancho (L*A) de área foliar de una muestra de hojas a través del análisis de regresión.

El objetivo general de esta investigación fue definir ecuaciones matemáticas lineales para estimar el área foliar en higuera, con la toma de medidas directas de las hojas en campo, sin emplear el muestreo no destructivo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Localización y caracterización del sitio experimental

La parcela experimental del cultivo de higo se localiza en el municipio de Pabellón de Arteaga, Aguascalientes.

Exactamente en la comunidad de San Luis de Letras, cuyas coordenadas geográficas son; 1020 29' 58'' LN y 220 13' 63'' LO y la localidad se encuentra a una altura de 1900 msnm.

Se llevó a cabo un muestreo aleatorio para la selección de las hojas, se tomaron diferentes tamaños de hojas en el desarrollo de las plantas, con la variedad de higo Nezahualcóyotl, establecida a 0.50 metros entre planta y planta, con una distancia entre cama y cama 1.5 metros en macro-túnel, teniendo una densidad de plantación de 704 plantas. Para la determinación de las variables o medidas de las hojas relacionadas con el área foliar, se realizó sobre unas muestras de 150 hojas, en cada uno de los estratos, superior, medio e inferior de plantas adultas, determinados por la altura, seleccionando hojas sanas de distintos tamaños. Una vez seleccionados las hojas, se procedió al corte de las mismas, se conservaron en un recipiente térmico (hielera) y se transportaron al laboratorio del Campo Experimental Pabellón (INIFAP). Se midió el largo y ancho de la hoja (sin incluir el peciolo), así como también, se dibujaron en hojas de papel, y posteriormente, se obtuvo el peso seco de las hojas. Lo anterior, con la finalidad de obtener un método alternativo mediante la generación de ecuaciones de regresión lineal para predecir área foliar utilizando como variables de predicción el largo y ancho de la hoja, el producto del largo por ancho de la hoja, el largo y el ancho de la hoja elevado al cuadrado, se acomodaron los datos de largo y ancho en la aplicación de las fórmulas del triángulo y pentágono.

$$\text{Área del triángulo} = \frac{b * h}{2} \quad (1)$$

donde b es la base, y h la altura.

$$\text{Área del pentagono} = \frac{P * A}{2} \quad (2)$$

donde P es el perímetro, y A el Apotema.

Para la medición del área foliar real (variable independiente) se empleó un integrador de área foliar LI-3100 AREA METER. Para la selección de los modelos, se basó en los criterios de selección: coeficiente de determinación, el cuadrado medio del error y el coeficiente de variación. Las ecuaciones seleccionadas fueron obtenidas mediante el método de regresión lineal simple y ordenada al origen, y R^2 , C.M.E y C.V. fueron obtenidos por el paquete estadístico del SAS.

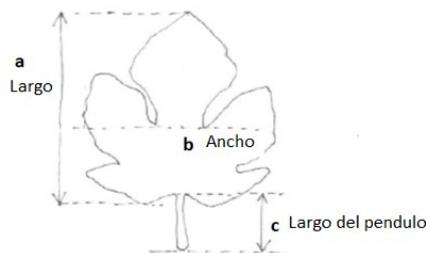


Fig. 1. Vista isométrica de la hoja del cultivo de higo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Determinación del área foliar de la higuera

En la Fig. 2, se presentan las ecuaciones que se realizaron con el método de regresión lineal simple, a partir de esta información se seleccionó la ecuación 11, debido a la importancia de utilizar en trabajos experimentales donde se requiera conocer el área foliar sin realizar muestreo destructivos, además de que la medición se puede realizar in situ, es deseable para ser utilizado en investigaciones en donde se desea conocer o darle seguimiento individualmente a la expansión foliar para conocer el área foliar, o bien, para evaluar la dinámica de las plantas intactas en condiciones ambientales o controladas, de estas ecuaciones, se sugiere utilizar el modelo número 11, que corresponde al largo al cuadrado de la hoja del cultivo de la higuera, debido a que presenta el mayor R^2 y de los C.M.E y C.V más bajos y por su simplicidad de la ecuación. Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 3.

Es importante mencionar, que el área foliar puede variar debido a un estrés hídrico o biológico, a plagas o enfermedades. En estas situaciones que un modelo matemático es de gran utilidad, debido a que constituye una herramienta para dar respuesta a interrogantes. Los ensayos de aplicación de pesticidas, fertilizantes, métodos de riego y otras prácticas agronómicas se pueden evaluar, con la ayuda de modelos matemáticos utilizando los diseños experimentales o en su defecto, muestreos apropiados.

Modelo Generado	R ²	
	Con ordenada al origen	
AF= -18.85 + 20.294 L	0.9398	62
AF= -125.65 + 19.398 A	0.8495	15
AF= 12.944 + 0.4952 L ²	0.9587	42
AF= 49.609 + 0.5002 A ²	0.8357	17
AF= 21.349 + 0.5206 L*A	0.935	67
AF= 82.816 + 0.0299 ((b*h)/2)	0.9457	56
AF= 21.349 + 0.2083 ((p*a)/2)	0.935	67
AF= 59.88 + 73.248 MSH	0.84	16
Sin ordenada al origen		
AF= 12.688 L	0.9772	20
AF= 13.702 A	0.9738	23
AF= 0.5163 L ²	0.9950	44

Fig. 2. Modelos generados mediante regresión lineal con y sin ordenar al origen con el objeto de predecir el área foliar (cm²) de higuera de la variedad Nezahualcóyotl.

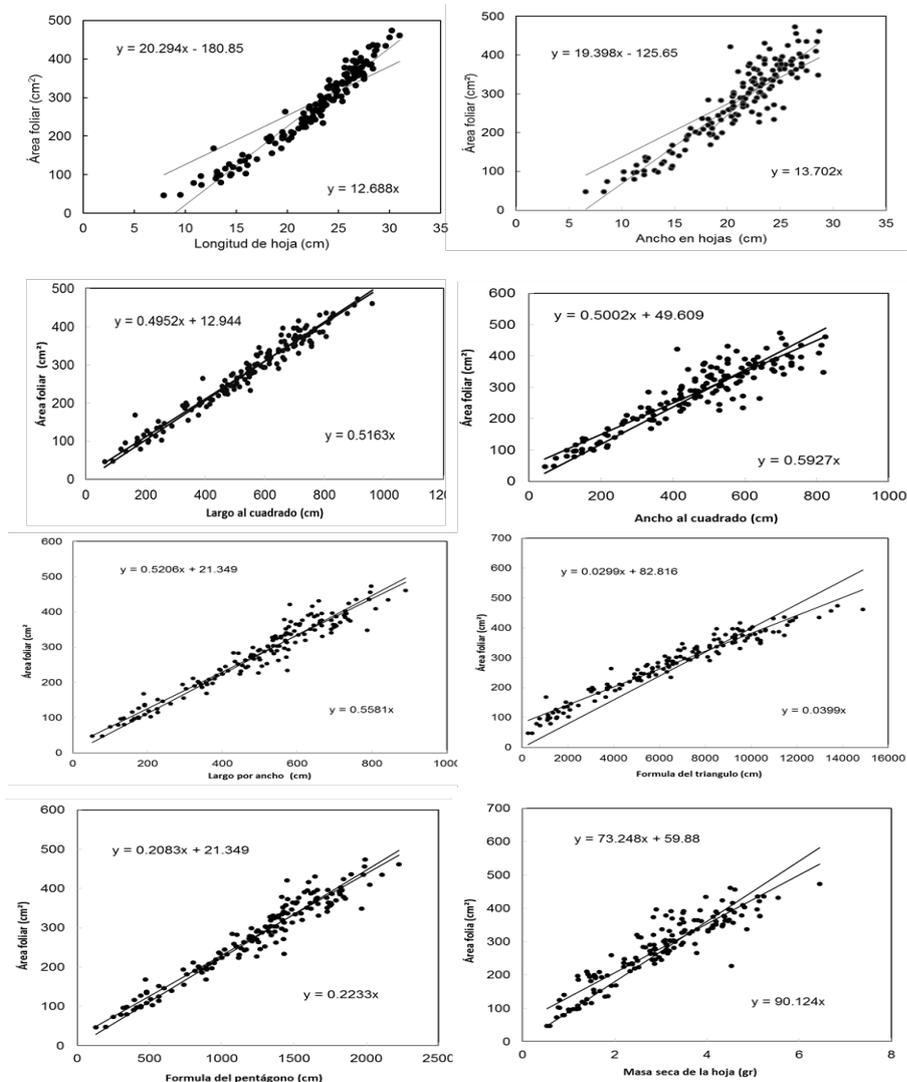


Fig. 3. Resultados de los análisis de regresión lineal entre las medidas de las hojas de higuera y el producto de ambas, ancho y largo de la hoja elevado al cuadrado, con las fórmulas del triángulo, pentágono y materia seca de la hoja. Aparecen en cada grafico la ecuación de regresión.

IV. CONCLUSIÓN

Se pueden establecer modelos predictivos para el área foliar (cm^2) de higo de la variedad Nezahualcóyotl a partir de la regresión lineal con y sin ordenada al origen. El modelo lineal encontrado para estimar el área foliar del cultivo de higo de la variedad Nezahualcóyotl puede ser usado en estudios agronómicos con rapidez y precisión.

REFERENCIAS

- [1] E. Campostrini and O. K. Yamanishi, "Estimation of papaya leaf area using the central vein length," *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, vol. 58, pp. 39–42, Mar. 2001, doi: 10.1590/S0103-90162001000100007.
- [2] F. F. Blanco and M. V. Folegatti, "A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants," *Hortic. Bras.*, vol. 21, pp. 666–669, Dec. 2003, doi: 10.1590/S0102-05362003000400019.
- [3] J. F. Clavijo, M. S. Hernández, and R. Montoya, "Determinación de modelos matemáticos para medición de área fotosintética y peso seco en pitaya," *COMALFI*, vol. 18, no. 2, pp. 6–11, 1991.
- [4] S. Gamiely, W. M. Randle, H. A. Mills, and D. A. Smittle, "A rapid and nondestructive method for estimating leaf area of onions," *HortScience*, vol. 26, no. 2, p. 206, 1991.
- [5] "Estimación del área foliar de papaya (*Carica papaya* L.) basada en muestreo no destructivo." <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/2307> (accessed Jul. 27, 2021).