

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

DETERMINACIÓN INDIRECTA DEL ÁREA FOLIAR EN EL CULTIVO
DE SOJA (*Glycine max* L. (Merrill))

Gatica, Pablo Javier

DNI: 34.771.124

Director: Giuggia, Jorge

Co Director: Boito, Graciela

Río Cuarto – Córdoba

12/2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Determinación indirecta del área foliar en el cultivo de soja (*Glycine max* L. (Merrill))

Autor: Gatica, Pablo Javier
DNI: 34.771.124

Director: Giuggia, Jorge
Co-Director: Boito, Graciela

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión
Evaluadora: Gerardo, Ulises _____

Oddino, Claudio _____

Giuggia, Jorge _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres, Rita y Juan por todo el cariño brindado y apoyo incondicional para el logro de mis metas y por otorgarme la posibilidad de estudiar una carrera. Son y serán siempre un ejemplo a seguir.

A mis hermanos Silvana, Juan y Agustín; a mis cuñados Natalia y Juan Pablo y a mi sobrina Magalí. Gracias por todos los momentos compartidos, por estar siempre en las buenas y en las malas y por hacerme sentir siempre que todo es posible. Los quiero mucho.

A mi novia Valentina. Por estar presente en todo momento, por sus constantes palabras de aliento en aquellos momentos en que más lo necesitaba, por su inmenso cariño brindado y por saber comprenderme a lo largo de estos años.

A la familia Giralda, por todo el afecto y apoyo recibido durante estos años. Los aprecio mucho.

A mis amigos y compañeros de la Universidad Francisco, Jonathan, Ignacio, Yamila, Mario, Darío, Fermin, Yoel, Gonzalo y Lucia. Gracias por su apoyo, amistad y por todos los momentos inolvidables que compartimos durante nuestra vida universitaria. Son excelentes personas a las cuales siempre voy a tener presentes.

A la Doctora Graciela Boito y al Ingeniero Agrónomo Jorge Giuggia. Gracias por guiarme en la confección de mi trabajo final, por estar siempre disponibles cuando lo necesité y por todos los conocimientos adquiridos gracias a ustedes.

A los Ingenieros Diego Giovanini, Cecilia Crenna, Cecilia Cassano y Santiago Ferrari. Gracias por haberme ayudado con mi trabajo final y por los momentos compartidos en la catedra.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	4
OBJETIVOS	5
MATERIALES Y METODOS	5
VALIDACIÓN DE SUPUESTOS	7
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE AREA FOLIAR REAL Y MEDIDAS MORFO METRICAS Y PESO SECO DE LOS FOLÍOLOS	9
VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES OBTENIDAS	14
DISCUSIÓN	16
CONCLUSIONES	18
BIBLIOGRAFÍA	19
ANEXOS	25

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables en estudio y el área foliar	10
Tabla 2: Valores de R^2 , ECMP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal simple ajustada, para cada variable evaluada	10
Tabla 3: Valores de R^2 , ECMP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal polinómica de 2° grado ajustada, para cada variable evaluada	11
Tabla 4: Ecuaciones de regresión lineal simple para estimación del área foliar en base al largo, ancho y peso seco del folíolo	14
Tabla 5: Ecuaciones de regresión lineal polinómica de 2° grado para estimación del área foliar en base al largo, ancho y peso seco del folíolo	14
Tabla 6: Valores de coeficiente de determinación (R^2), ECMP, AIC y valor de p, obtenidos de la regresión lineal entre área foliar observada y área foliar estimada por ancho	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráficos QQ-plot para las variables ancho, largo y peso seco	8
Figura 2: Gráficos de dispersión para las variables ancho, largo y peso seco	9
Figura 3: Diagramas de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el ancho, largo y peso seco de los folíolos	11
Figura 4: Diagramas de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el ancho, largo y peso seco de los folíolos	12
Figura 5: Residuos estudentizados del análisis de regresión para las variables analizadas	13
Figura 6: Diagrama de dispersión de la regresión lineal entre el área foliar observada y el área foliar estimada, a partir de la ecuación de regresión lineal simple	15

RESUMEN

Para la determinación del área foliar existen diversos procedimientos. Estos pueden clasificarse en destructivos y no destructivos, tanto directos como indirectos. La medición directa requiere de equipos de alto costo y no fácilmente utilizables. Por ello resulta sumamente práctico poder contar con ecuaciones que permitan estimar indirectamente el área foliar de forma rápida, sencilla y precisa a campo a partir de variables de fácil medición. El presente trabajo tiene como objetivo establecer la relación entre las medidas morfo métricas de los folíolos (largo y ancho) y el peso seco de los mismos, con el área foliar en el cultivo de soja. Para ello se extrajeron 300 hojas al azar de los tres estratos del cultivo (superior, medio e inferior). Los folíolos fueron analizados con el software Winfolia a los fines de determinar: el área foliar y las medidas de largo y ancho de cada folíolo. Seguidamente se llevaron a estufa durante 48 horas para obtener el peso seco de los mismos. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de correlación de Pearson, y a análisis de regresión lineal simple y polinómica de segundo grado, obteniéndose ecuaciones para cada variable (ancho, largo y peso seco). Se realizó también la validación de los datos de área estimada (a través de la variable ancho, la que resultó tener mejor ajuste) y el área observada, mediante regresión lineal simple y polinómica de segundo grado. La correlación entre área foliar y ancho, largo y peso seco resultó ser positiva en ambos modelos. Al considerar otros criterios de selección (ECMP, AIC y pendiente 1:1) la regresión lineal simple mostró mejor precisión para estimar el área foliar. A partir de los resultados obtenidos se concluye que el ancho del folíolo es una medida precisa para la determinación del área foliar en el cultivo de soja.

Palabras clave: soja, área foliar, estimación indirecta.

SUMMARY

To determine the leaf area there are several procedures. These can be classified into destructive and non-destructive, either direct and indirect. Direct measurement requires expensive equipments and not easily usable.

This makes it very practical to have equations to estimate indirectly the leaf area quickly, easily and accurately field from easily measured variables. This study aims to establish the relationship between morphometric measures of the leaflets (length and width) and the dry weight thereof, with the leaf area of soybean crop. For this 300 sheets at random from the three layers of culture (upper, middle and lower) were extracted. Leaflets were analyzed with the software Winfolia for the purpose of determining: the leaf area and length and width of each leaflet. Then they were carried to the heat cabinet for 48 hours to obtain their dry weight. The data obtained were subjected to Pearson correlation analysis, and analysis of simple linear regression and quadratic polynomial, and equations were obtained for each variable (width, length and dry weight). The Validating data of the estimated area (by the width variable, which had the better fit) and the observed area by simple linear regression and quadratic polynomial was also performed.

The correlation between leaf area and width, length and dry weight was found to be positive in both models. When considering other criteria (ECMP, AIC and slope 1: 1) simple linear regression showed better accuracy to estimate leaf area. From the results obtained it is concluded that the width of the leaflet is an accurate measure for determining the leaf area on the soybean crop.

Keywords: soybean, leaf área, indirect estimation.

INTRODUCCIÓN:

El cultivo de soja tiene importancia mundial, por ser una oleaginosa que sirve para la alimentación humana y animal (Garcés- Fiallos y Forcelini, 2011).

El área sembrada con la oleaginosa en la República Argentina durante la campaña 2013/2014 fue de 20,2 millones de hectáreas (Bolsa de Comercio de Rosario, 2014), de las cuales 4,7 millones corresponden a la Provincia de Córdoba (MAGyA, 2014).

La Argentina ocupa el tercer lugar como productor y exportador del grano de soja en el mundo, y es el principal exportador internacional de aceite y harina derivados de la oleaginosa (63 y 44 % respectivamente). Durante un largo periodo el principal importador de grano de soja fue la Unión Europea. A partir de 1998-99, la República Popular China incremento su demanda para el procesamiento interno y se convirtió, a partir de la cosecha 2004-05, en el principal importador mundial del grano (63%) y aceite de soja (15%). Por otra parte, la Unión Europea es la principal importadora de harina de soja (Giancola *et al.*, 2009).

Dentro de los factores que afectan el desarrollo de este cultivo se encuentran la temperatura y el fotoperiodo, los cuales actúan en forma simultánea en las plantas y con evidencia de interacción entre ellos (Kantolic *et al.*, 2004). La duración de una fase (habitualmente medida en días) depende de la temperatura, siendo esta determinante en la duración de cada uno de los estados fenológicos del cultivo. La relación entre la duración de una fase y la temperatura no es lineal, por ello se prefiere caracterizar la longitud de una etapa a través de su inversa, denominada tasa de desarrollo (Sadras *et al.*, 2009). La temperatura regula el desarrollo de todo el ciclo, donde no existirían respuestas diferenciadas entre genotipos, es decir, que habría una respuesta universal a la temperatura por parte de todos los grupos de madurez; sin embargo los requerimientos de tiempos térmicos para que se produzca la floración tiende a disminuir desde los grupos de madurez mayores hacia los menores (Piper *et al.*, 1996).

Con respecto al fotoperiodo, el efecto principal de la duración del día en el desarrollo de la soja es el de inducción de la floración, los días cortos inducen el inicio de dicho proceso (Hicks, 1983). En términos generales la soja se clasifica como planta de días cortos con respuesta cuantitativa, es decir que cada cultivar tiene su valor crítico, por debajo del cual la etapa emergencia-floración no modifica su longitud por efecto del fotoperiodo. A medida que aumenta las horas de luz la velocidad de desarrollo disminuye y se retrasa la floración. El fotoperiodo influye y regula la mayor parte de los eventos reproductivos condicionando el inicio y final de las diferentes fases y la tasa con que progresan los cambios dentro de la planta (Kantolic y Satorre, 2004). A nivel mundial existen genotipos de soja con un rango muy amplio de sensibilidad fotoperiódica; los que son insensibles al fotoperiodo, los que tienen valores críticos

adaptados a mayores latitudes que florecen con fotoperiodos muy largos, y los que están adaptados a bajas latitudes que florecen con fotoperiodos más cortos y que poseen alta sensibilidad fotoperiódica. En Argentina se lo divide en grupos de madurez menores o bajos (II, III y IV) que requieren mayor fotoperiodo para la inducción (menos sensibles); y los mayores o altos (V, VI, VII y VIII) que se inducen con menor fotoperiodo (más sensibles). Cuanto mayor el grupo de madurez mayor será su sensibilidad y determina un mayor tiempo a inicio de floración y mayor duración del ciclo para una condición fotoperiódica determinada (Whigham *et al.*, 1983).

La respuesta de la soja a la longitud del día se puede modificar por efecto de la temperatura, y esta influye significativamente en aquellos grupos de madurez de menor sensibilidad al fotoperiodo, de modo tal que los cultivares de maduración temprana (ciclo corto) responden más a los cambios en la temperatura y los cultivares de maduración tardía (ciclo largo) responden más a cambios en el fotoperiodo. Temperaturas por debajo de los 25°C atrasan la floración independientemente de la longitud del día. Con fotoperiodos largos y temperaturas mayores a 32°C se producen abortos de flores y vainas (Whigham y Minor, 1983).

En lo que respecta al crecimiento, la representación del mismo es la típica curva sigmoidea con una primera etapa de crecimiento vegetativo lento (desarrollo del área foliar), luego una etapa de crecimiento lineal acelerado (corresponde a la formación de área foliar, tallo, flores y vainas), una etapa de crecimiento reproductivo lineal que comienza en R5 con el llenado de granos y culmina con el amarillamiento y caída de hojas. En R7 el crecimiento reproductivo se produce a menor tasa (etapa final del llenado de granos). En la cuantificación de producción, la variable más relevante de crecimiento de una planta es el área foliar por unidad de área de suelo, conocido como índice de área foliar (IAF) (Bergamin Filho y Amorim, 1996). La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) está estrechamente relacionada a la intercepción de la radiación, la que a su vez depende del índice de área foliar (IAF). La TCC aumenta a medida que aumenta el IAF hasta que alcanza un valor crítico capaz de interceptar el 95% de la radiación solar incidente, esto se conoce como IAF crítico y se encuentra entre 3,1 y 4,5 y depende de la estructura de la planta, la que a su vez depende de la fecha de siembra y el grupo de madurez; la densidad de siembra y el espaciamiento entre surcos son otras variables que influyen sobre la estructura. De modo tal que si el cultivo no logra alcanzar el IAF crítico, la primer consecuencia es su menor eficiencia en la captación de la radiación lo cual lleva a una disminución de la TCC y por lo tanto del rendimiento (Baigorri, 2009).

La determinación del área foliar es fundamental en estudios de nutrición y crecimiento vegetal, con esta se puede determinar la acumulación de materia seca, el metabolismo de

carbohidratos, el rendimiento y calidad de la cosecha (Bugarin *et al.*, 2002). La soja es afectada por numerosas enfermedades y plagas que provocan distintos daños los que pueden agruparse en: (i) aquellas que reducen el número de plantas establecidas por unidad de superficie, (ii) aquellas que reducen la partición y producción de materia seca, y (iii) aquellas que afectan la calidad del grano (De la Fuente *et al.*, 2006). En el actual sistema productivo, el cultivo de soja es más susceptible al ataque de las plagas que reducen el área foliar o afectan su capacidad fotosintética (Perotti y Gamundi, 2009). En la Argentina, los insectos desfoliadores constituyen las plagas más conspicuas del cultivo. La disminución del rendimiento del cultivo de soja debido a la defoliación ocurre a través de la pérdida de área foliar y sus efectos subsecuentes sobre la planta: menor intercepción de luz, menor capacidad fotosintética, pérdida de material almacenado en hoja y acortamiento del periodo de llenado de granos (Board *et al.*, 1994).

El cálculo de IAF de un cultivo requiere información sobre la densidad de plantas por metro cuadrado y sobre el área foliar media de cada planta. La densidad es fácilmente obtenida a partir del conteo del número de plantas en puntos diferentes del lote (Astegiano y Favaro, 1987). Para determinar el área foliar existen diversos procedimientos. Estos pueden clasificarse en destructivos (Dengler, 1984) y no destructivos, tanto directos como indirectos. Entre los indirectos se destacan los que utilizan correlaciones alométricas entre magnitudes de las hojas y el área foliar (Goenaga y Singh, 1996), mediciones del grado de cobertura del suelo (Andrieu *et al.*, 1997), o de la relación entre la penetración de la radiación y la estructura de la cubierta vegetal (Welles y Norman, 1991). Los métodos directos son los que utilizan medidores de área foliar, que son instrumentos diseñados con este propósito y que tienen una resolución del orden de mm^2 . Algunos de los métodos mencionados resultan excesivamente laboriosos. Por otra parte la medición directa, aunque resulta más precisa, requiere de equipos de alto costo y no fácilmente utilizables. Esto en parte explica la amplia difusión de los métodos de estimación derivados de medidas lineales de las hojas (Jorge y González, 1997). Es por ello que resulta sumamente útil y práctico poder contar con ecuaciones que permitan estimar indirectamente el área foliar de forma rápida, sencilla y precisa a campo a partir de variables de fácil medición (Burgos *et al.*, 2010). Dichas ecuaciones varían claramente entre especies, aunque también según el estadio de desarrollo, genotipo, estación de crecimiento (Kvet y Marshall, 1971) y edad de las hojas (Astegiano y Favaro, 1987).

Los modelos lineales para la estimación del área foliar han sido utilizados en una amplia cantidad de trabajos de investigación. En mandioca, Ascencio (1985) ajustó modelos lineales para la estimación del área foliar de cuatro variedades (2078, 2320, Barinas y Sucre) de Venezuela en función de las dimensiones foliares alométricas y el peso seco de las hojas, y

encontró un muy buen ajuste (R^2 entre 0,90 y 0,95). Numerosas investigaciones realizadas en cultivos como níspero (Meza y Bautista, 1999), vid (Gutierrez y Lavin, 2000), cerezo (Cittadini y Peri, 2006), yerba dulce (Espitia *et al.*, 2006), melón (Chirinos *et al.*, 1997), habas (Peksen, 2007) y en algunos frutales (Demirsoy, 2009), entre otros, han logrado establecer ecuaciones cuadráticas o lineales simples o múltiples que permiten estimar el área foliar con R^2 comprendidos entre 0,80 y 0,99. Todos ellos a partir de dimensiones lineales foliares como variables regresoras, utilizando como criterios de adecuación R^2 , significancia de los parámetros y cuadrado medio del error. De esta metodología hay muchos otros ejemplos para diferentes especies, como el durazno (Demirsoy *et al.*, 2004), lino (Kurt *et al.*, 2005), pimienta (Kandiannan *et al.*, 2002), papa (Fleisher y Timlin, 2006), maíz (Lizaso *et al.*, 2003), vid (Williams y Martinson, 2003), entre otras. Por otra parte, Stickler *et al.* (1961), determinaron que la relación largo por ancho máximo por 0,747 es significativamente precisa en la determinación del área foliar en sorgo granífero, independientemente de la variedad o híbrido estudiado.

La validación de los modelos obtenidos para predecir el área foliar es un paso importante para evaluar el grado de precisión de los mismos. La confiabilidad en la precisión de los modelos proporciona a los investigadores un método relativamente rápido y económico que se puede utilizar como complemento en estudios de fisiología vegetal (Casierra-Posadas *et al.*, 2008).

El análisis de regresión es un método que permite investigar y modelar la relación existente entre una o más variables regresoras con una única variable dependiente o respuesta. Asimismo, una de las herramientas más utilizadas para evaluar la adecuación general de un modelo es el coeficiente de determinación (R^2) (Montgomery *et al.*, 2004), el cual es una medida de la capacidad predictiva del modelo y relaciona la variación explicada por el modelo con la variación total (Di Rienzo *et al.*, 2012). Los métodos para la creación de modelos por regresión incluyen un análisis de varianza que permite determinar de manera objetiva si la participación de una variable independiente en el modelo es significativa o no, y por lo tanto, si ha de ser incluida o no en el modelo (Myers, 1990).

De lo expuesto surge que a pesar de la numerosa cantidad de investigaciones llevadas a cabo en el tema, hay pocas realizadas en el cultivo de soja por lo cual se plantea la siguiente hipótesis:

HIPÓTESIS:

El área foliar en el cultivo de soja se puede determinar en forma indirecta a través de métodos destructivos y no destructivos.

OBJETIVO GENERAL:

Establecer la relación entre las medidas morfométricas de los folíolos (largo y ancho) y el peso seco de los mismos, con el área foliar en el cultivo de soja.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar el área foliar y los caracteres morfométricos (largo y ancho) de los folíolos.
- Determinar el peso seco de los folíolos.
- Obtener la relación entre el área foliar y las variables estudiadas.
- Realizar la validación utilizando la/s variable/s que mejor ajustaron a la estimación del área foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS:

El ensayo se realizó en el campo experimental de la UNRC durante la campaña agrícola 2012/13, utilizando el cultivar Nidera A 5009 grupo de madurez (GM) V corto.

Se extrajeron un total de 300 hojas al azar de los tres estratos del cultivo (superior, medio e inferior), en el estado fenológico: R3-R5, considerada una de las etapas más susceptible del cultivo a la pérdida de área foliar. Este número de hojas se determinó considerando lo realizado por varios autores en diferentes cultivos (García-Corona *et al.*, 2010; Burgos *et al.*, 2010; Garcés-Fiallos y Forcelini, 2011).

Los folíolos de cada una de las hojas fueron removidos, escaneados y analizados con el software WinFolia Reg. (2004) (el cuál, mediante un análisis de la morfología de la hoja, provee las distintas medidas morfométricas de la misma) a los fines de determinar: el área foliar y las medidas de largo y ancho de cada folíolo. Seguidamente se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a estufa de circulación forzada de aire a 65 °C durante 48 horas a fin de obtener el peso seco de los mismos (Burgos *et al.*, 2010; Garcés-Fiallos y Forcelini, 2011).

Los datos obtenidos de área foliar, medidas morfométricas y peso seco, fueron sometidos a análisis de correlación de Pearson, y a análisis de regresión lineal simple y cuadrática donde el área foliar medida con el medidor WinFolia fue la variable dependiente y las medidas morfométricas y el peso seco las variables regresoras.

Para la validación de los datos se procedió a tomar en el mismo estado fenológico un total de 250 hojas al azar de los tres estratos del cultivo. Posteriormente fueron separados los folíolos, escaneados y analizados con el software WinFolia Reg.2004a para determinar el ancho y el área foliar de cada folíolo en forma individual. Con los datos registrados se calculó el valor de área foliar estimada utilizando la ecuación obtenida por regresión lineal para la variable ancho de folíolo. A efectos de determinar si el modelo es adecuado para ésta estimación de área foliar de manera indirecta se realiza una regresión lineal entre área foliar observada y área foliar estimada

por ancho de folíolo. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2012).

RESULTADOS:

1.- Validación de los supuestos

Los supuestos básicos son las condiciones que deben cumplir los datos para que el modelo matemático sea válido. Cuando no se cumplen se ve afectado el nivel de significación, la sensibilidad de la prueba de F y la discrepancia real de la hipótesis nula (Di Rienzo et al., 2012).

Normalidad: los gráficos QQ-plot se utilizan para evaluar el grado de ajuste de un conjunto de observaciones a una distribución teórica. Aunque no representan pruebas formales de ajuste, la experiencia ha mostrado que son efectivos para detectar faltas de ajuste que muchas veces las pruebas formales son incapaces de detectar. El QQ-plot fue realizado con los residuos del modelo de regresión y usando como distribución teórica la normal (Di Rienzo et al., 2012). Como conclusión de lo observado en los gráficos (figura 1) se obtiene que el supuesto distribucional para los residuos se cumple, es decir que los mismos tienen distribución normal (si bien hay algunos puntos alejados del cuantil).

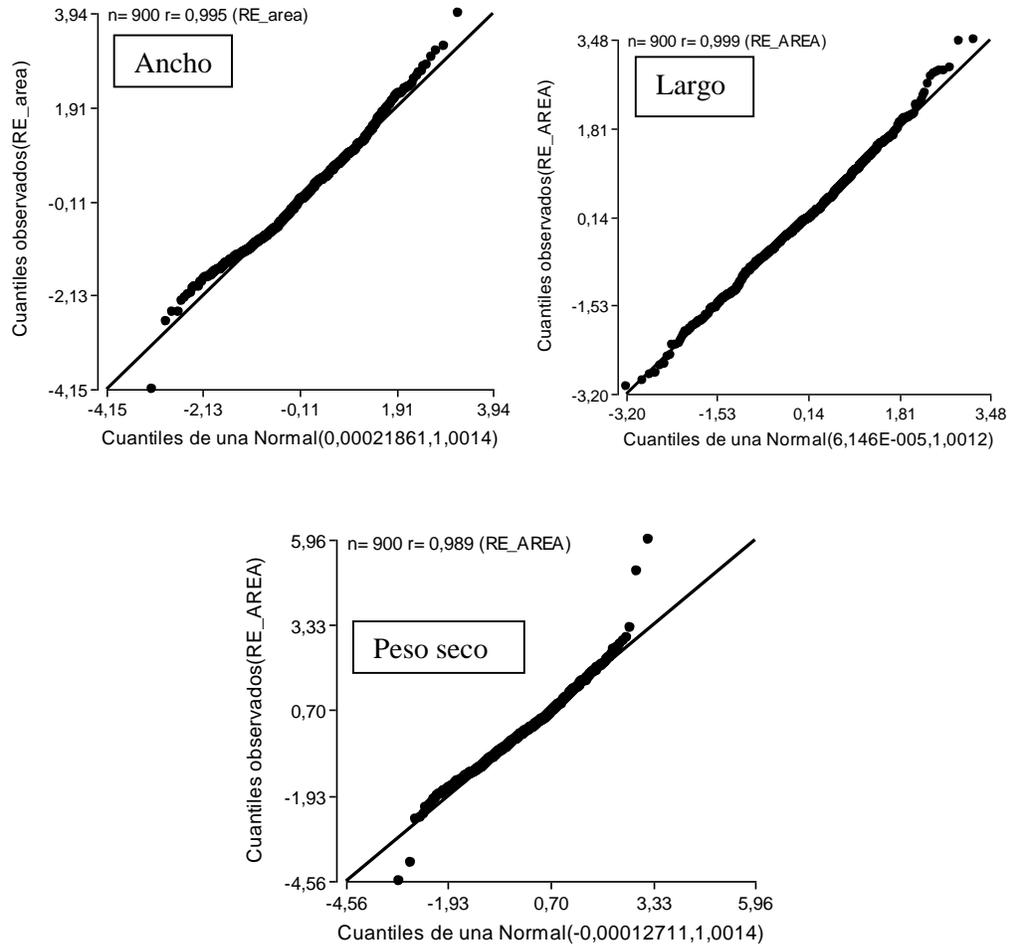


Figura 1: Gráficos QQ-plot para las variables ancho, largo y peso seco

Homocedasticidad: el diagrama de dispersión es el típico gráfico que muestra un conjunto de puntos ordenados en el plano por sus coordenadas X e Y. Se utiliza cuando se quiere visualizar la variación conjunta de dos variables cuantitativas. Cuando los errores son homocedásticos, haciendo un gráfico de dispersión de residuos versus valores predichos se debe observar una nube de puntos sin patrón alguno (patrón aleatorio). Si el gráfico muestra estructura habrá indicios para sospechar sobre el cumplimiento del supuesto (Di Rienzo et al., 2012). Analizando los gráficos de dispersión (figura 2) se concluye que el supuesto de homogeneidad de varianzas se cumple.

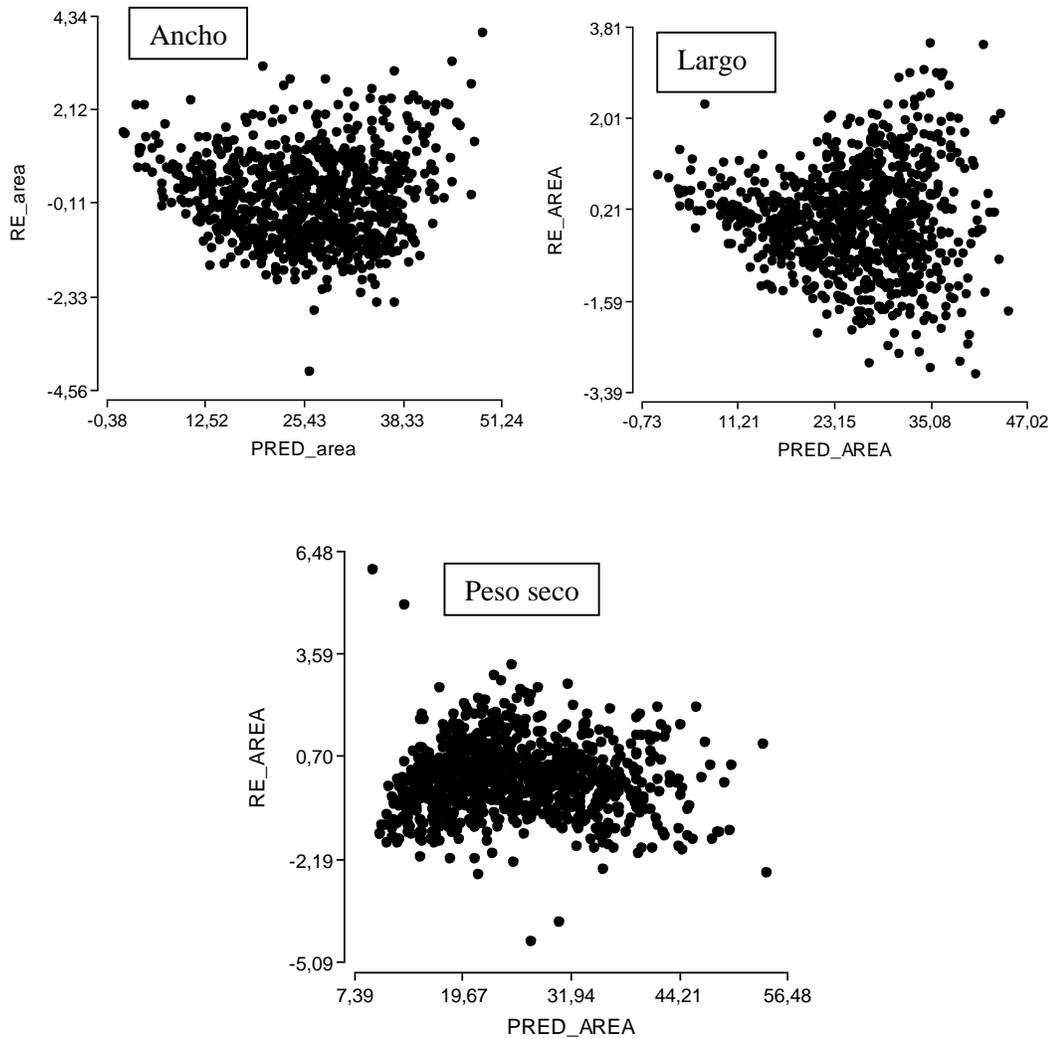


Figura 2: Gráficos de dispersión para las variables ancho, largo y peso seco

2.- Determinación de la relación entre el área foliar real y medidas morfo métricas (largo y ancho) y peso seco, de los folíolos

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida de la asociación lineal entre dos variables que no depende de las unidades de medida de las variables originales. El análisis del mismo para las variables en estudio arrojó valores comprendidos entre 0,87 y 0,97 (Tabla 1). Se observa que las mayores asociaciones lineales se corresponden con las variables ancho y peso seco de los folíolos. Así mismo, considerando que el peso seco presenta una correlación inferior (0,93) con respecto al ancho (0,97) y, que además se trata de un método destructivo sería el ancho el parámetro más adecuado para estimar el área foliar.

Tabla 1: Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables en estudio y el área foliar.

VARIABLES ANALIZADAS	COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON	P-VALOR	n
Ancho	0,97	<0.0001	900
Largo	0,87	<0.0001	900
Peso seco	0,93	<0.0001	900

De los análisis de regresión lineal efectuados (ANEXOS 1 y 2) con el objetivo de determinar que parámetro se ajusta mejor para la determinación indirecta del área foliar se obtiene como resultado que los tres se ajustaron al modelo lineal simple y polinómico de 2° grado con valores de $p < 0,05$ lo cual permite concluir que existen evidencias estadísticamente significativas para afirmar que las variables ancho, largo y peso seco explican linealmente el área foliar. Los valores de coeficiente de determinación (R^2), error cuadrático medio de predicción (EMCP) e índice de Akaike (AIC) son similares para ambos modelos, obteniendo como resultado que la variable ancho presenta el mayor valor de R^2 y menor valor de EMCP y AIC lo cual revela que es la variable que estima más eficientemente el área foliar en forma indirecta (Tabla 2 y 3).

Tabla 2: Valores de R^2 , ECMP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal simple ajustada, para cada variable evaluada.

VARIABLES ANALIZADAS	R^2	ECMP	AIC	P-VALOR	ORDENADA AL ORIGEN (a)	PENDIENTE (b)
Ancho	0.94	4.67	3940.91	<0.0001	-12.54	7.93
Largo	0.76	20.36	5266.01	<0.0001	-23.52	6.38
Peso seco	0.86	11.25	4731.48	<0.0001	7.64	116.83

Tabla 3: Valores de R^2 , ECMP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal polinómica de 2° grado ajustada, para cada variable evaluada.

Variables analizadas	R^2	ECMP	AIC	p-valor	Ordenada al origen (a)	Pendiente (b)	Estadístico (c)
Ancho	0.95	4.21	3847.80	<0.0001	-3.06	3.70	0.44
Largo	0.76	20.29	5261.67	<0.0001	-13.35	3.58	0.19
Peso seco	0.87	10.90	4700.61	<0.0001	5.19	151.57	-100.46

Al analizar los diagramas de dispersión obtenidos (Figura 3 y 4), se observa que las tres variables están estrechamente relacionadas de manera positiva con el área foliar, mostrando el ancho y peso seco una menor dispersión de puntos, contrariamente a lo que ocurre cuando se relaciona área foliar con largo de folíolo.

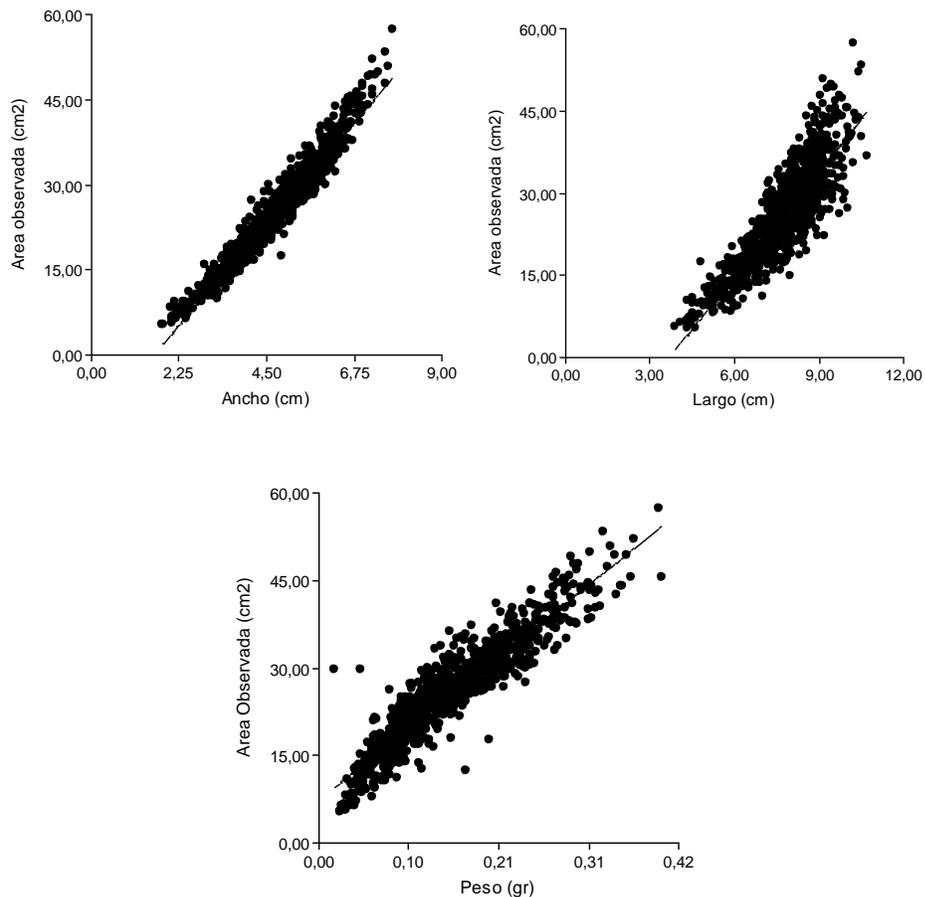


Figura 3: Diagramas de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el ancho, largo y peso seco de los folíolos.

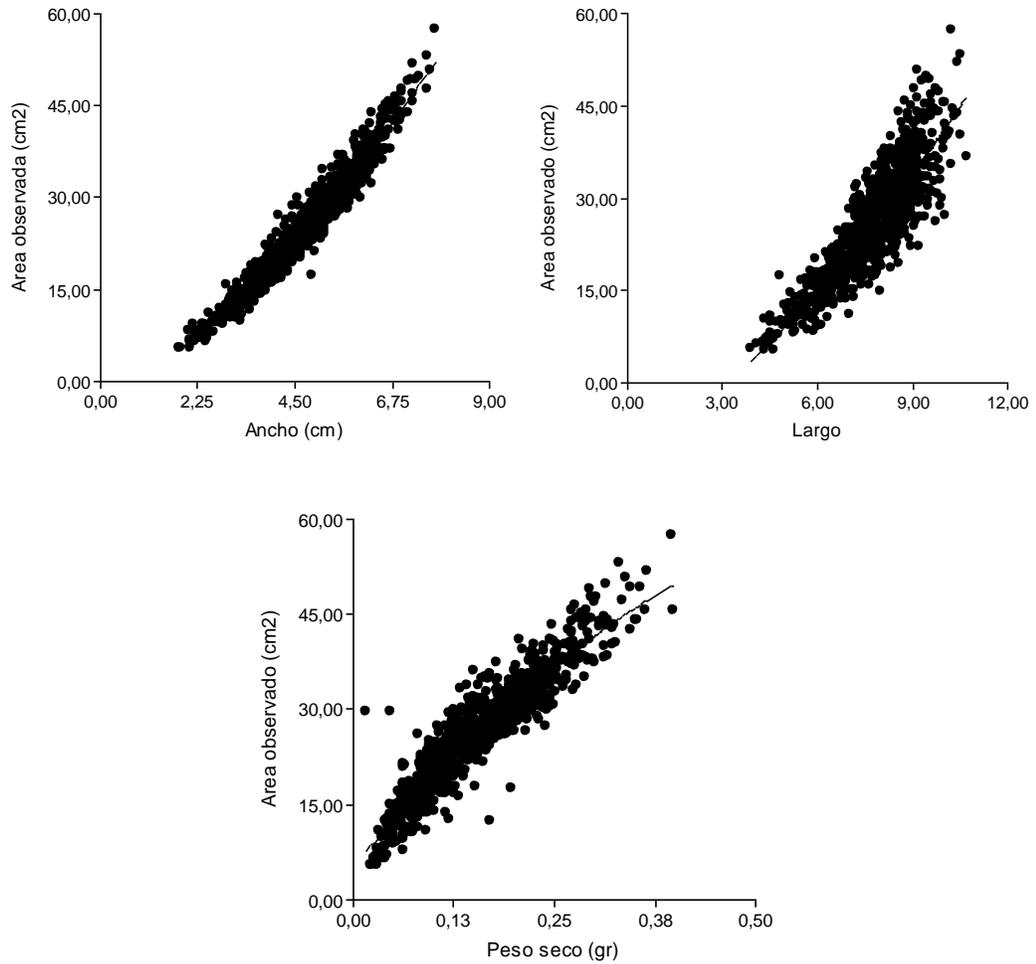


Figura 4: Diagramas de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el ancho, largo y peso seco de los folíolos.

Si observamos la distribución de los residuos estudentizados obtenidos de las regresiones llevadas a cabo (Figura 4), se aprecia una distribución uniforme siendo menos dispersa cuando se utilizó el ancho y el peso seco de los folíolos, sobresaliendo el primer parámetro mencionado al ser un método no destructivo.

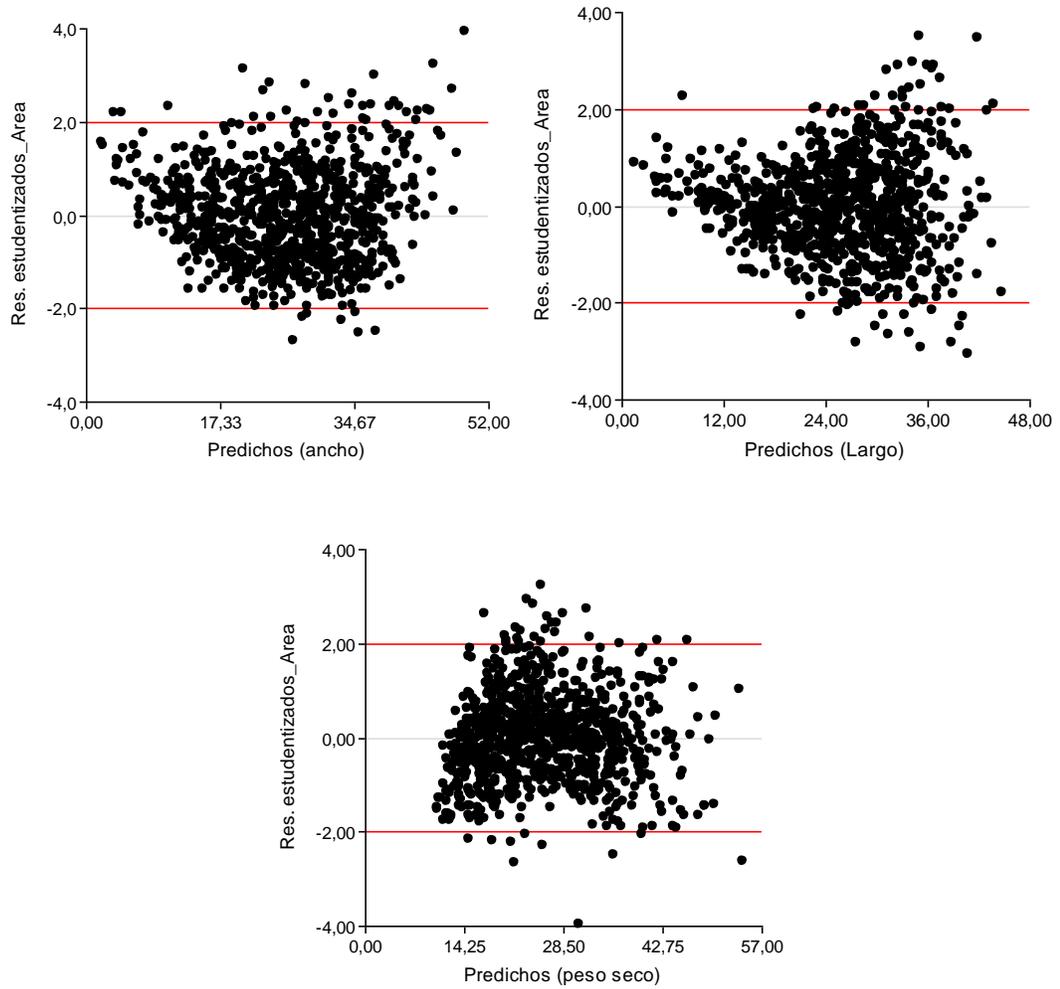


Figura 5: Residuos estudentizados del análisis de regresión para las variables analizadas.

Utilizando los valores de cada estadístico (Tabla 2 y 3), se pueden definir las ecuaciones de los modelos ajustados (Tabla 4 y 5).

Tabla 4: Ecuaciones de regresión lineal simple para estimación del área foliar en base al largo, ancho y peso seco del folíolo.

VARIABLES ANALIZADAS	ECUACIÓN DE REGRESIÓN
Ancho (A)	Área= $-12,54 + 7,93 * A$
Largo (L)	Área= $-23,52 + 6,38 * L$
Peso seco (PS)	Área= $7,64 + 116,83 * PS$

Tabla 5: Ecuaciones de regresión lineal polinómica de 2° grado para estimación del área foliar en base al largo, ancho y peso seco del folíolo.

VARIABLES ANALIZADAS	ECUACIÓN DE REGRESIÓN
Ancho (A)	Área= $-3,06 + 3,70 * A + 0,44 * A^2$
Largo (L)	Área= $-13,35 + 3,58 * L + 0,19 * L^2$
Peso seco (PS)	Área= $5,19 + 151,57 * PS - 100,46 * PS^2$

Solo resta reemplazar el valor de “x” por los valores correspondientes a cada variable bajo estudio y así de esta manera se obtiene el área estimada de cada uno de los folíolos.

3.- Validación de las ecuaciones obtenidas.

Dado que las evaluaciones anteriormente realizadas demostraron que la variable ancho es la que se correlaciona en mayor magnitud al estimar el área foliar, se realizó la validación solo con la anteriormente mencionada.

Con los datos de ancho de los folíolos de las 250 hojas extraídas se estimó el área foliar utilizando las ecuaciones originadas en la primera etapa del trabajo. Los datos de área foliar observada y estimada por ancho se observan en el Anexo I.

Al realizar el análisis de regresión lineal simple entre el área foliar observada como variable dependiente y el área foliar estimada como regresora, se obtuvieron altos coeficientes de determinación (R^2) en los dos modelos (Tabla 6). Si se tienen en cuenta los demás criterios de selección, EMCP y AIC, se observan mejores ajustes para la ecuación polinómica de 2° grado.

Pese a lo anterior mencionado, al validar la hipótesis que la pendiente de la línea de regresión sea 1, se acepta dicha hipótesis solo cuando la estimación del área se hace utilizando la regresión lineal simple de la variable en estudio; concluyéndose por lo tanto que solo este modelo se puede utilizar para estimar eficientemente el área foliar (Tabla 6).

Tabla 6: Valores de coeficiente de determinación (R^2), ECMP, AIC y valor de p, obtenidos de la regresión lineal entre área foliar observada y área foliar estimada por ancho.

Variables analizadas	R^2	ECMP	AIC	p-valor del modelo	p-valor pendiente 1:1
Regresión lineal simple	0,90	7,17	3.605,19	<0.0001	0,5877
Regresión lineal cuadrática	0,90	6,69	3.553,39	<0.0001	0,0001

En el siguiente dispersograma (Figura 6) se aprecia el grado de ajuste entre los valores observados y estimados por el modelo de regresión lineal simple.

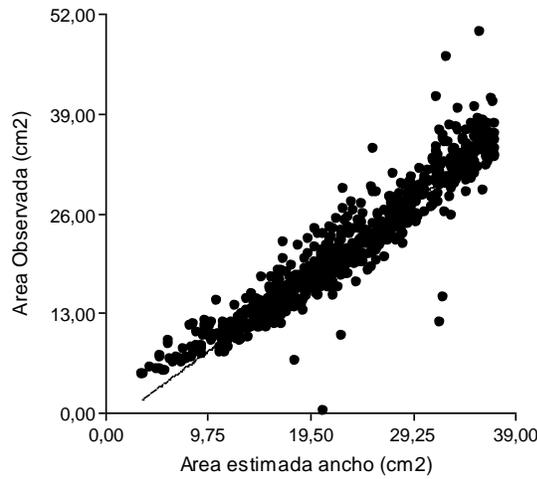


Figura 6: Diagrama de dispersión de la regresión lineal entre el área foliar observada y el área foliar estimada, a partir de la ecuación de regresión lineal simple.

DISCUSIÓN

Al comparar los modelos desarrollados para estimar el área foliar con la bibliografía consultada, se observa que los resultados coinciden con los reportes de Chirinos *et al.* (1997) en melón híbrido “Durango” (*Cucumis melo* L. híbrido Durango), los cuales encontraron que al relacionar el área foliar con las variables ancho y largo de folíolos, el ancho fue quien mejor estimó el área foliar ($R^2=0,98$). De igual manera, Pire y Valenzuela (1995) para la variedad French colombard de vid (*Vitis vinifera* L.) plantearon diferentes ecuaciones de regresión simple utilizando en las mismas las variables ancho y largo en forma individual como así también el producto entre ambas, observándose que en todos los casos la variable ancho se comportó mejor que el largo de la hoja al conferir un mejor ajuste en las ecuaciones. Por otra parte Martín *et al.* (2006) obtuvieron que los modelos para estimar el área foliar en canavalia (*Canavalia ensiformis* (L)DC.) a través del ancho, fueron más exactos que los basados en el largo. De igual forma, Tsialtas y Maslaris (2005) determinaron que el coeficiente de determinación de los modelos de predicción del área foliar, en remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) variedad “Rizor”, fue más estable cuando se utilizó como variable regresora el ancho foliar. En girasol, Maldaner *et al.* (2009) encontraron que el mejor valor de R^2 se obtuvo utilizando solo el ancho de la hoja en la ecuación de regresión lineal.

Contrariamente Ruiz- Espinosa *et al* (2007) en albahaca (*Ocimum basilicum* L.), encontraron que las variables ancho y largo se correlacionaron positivamente con el área foliar pero la segunda variable mencionada presentó un mayor valor de correlación ($R^2=0,89$). De igual manera, en mango (*Manguifera indica* L.) Calderon *et al.* (2009) encontraron que el modelo explica que la variabilidad del 80,06 % en el área foliar es debido a la relación existente entre el área foliar y largo de las hojas y la de 78,75% para el área foliar y el ancho de ésta.

En lo que respecta a la utilización del peso seco como estimador del área foliar, Garcés y Forcelini (2011), encontraron que las relaciones entre materia seca y área foliar fueron significativas ($p<0.0001$ y R^2 de 0.74 a 0.97) en soja para el cultivar Nidera 5909 RG. Asimismo, hay pocas referencias con respecto al uso de esta metodología en otros cultivos. Uno de ellos fue desarrollado por Barrantes y Gracia (1989), los cuales observaron buena correlación entre peso de materia seca de hojas y área foliar en *Pinus sylvestris* L.

Diversos autores encontraron buen ajuste de modelos lineales para estimar el área foliar basados en la relación entre el largo y ancho de la hoja. Tal es el caso de Astegiano *et al.* (2001) en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) los cuales determinaron el siguiente modelo general: $AF= a + b \times (L \times A)$. Cabezas- Gutierrez *et al.* (2009) en aliso (*Alnus acuminata* H.B.K), magle (*Escallonia pendula* Pers.) y roble (*Quercus humboldtii* Bompland)

determinaron que para las tres especies forestales al multiplicar el ancho por el largo, los valores de R^2 son superiores que los arrojados por el análisis de las variables individualmente y permiten tener mayor grado de exactitud y de precisión en las mediciones. Esto también coincide con lo observado por Cittadini y Peri (2006) en cereza, Singh (2007) en guayaba y Nautival *et al.* (1990), en manzana.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten afirmar lo expresado por varios investigadores, que utilizan medidas morfométricas para estimar el área foliar, en lo que respecta a las ventajas que tiene este método por no requerir de costosos equipos, ser un método no destructivo, lo que permite que las mediciones sean repetibles en el tiempo y reducir el número de mediciones a la mitad comparándolo con los modelos que utilizan el producto del largo por el ancho.

CONCLUSIONES:

✓ Dado que la determinación del área foliar mediante el peso seco de los folíolos es un método destructivo, se concluye que el ancho del folíolo es una medida precisa para la determinación del área foliar en el cultivo de soja.

✓ El modelo lineal simple seleccionado y validado: $\text{Área} = -12,54 + 7,93 * \text{ancho de foliolo}$ mostró la mayor precisión para estimar el área foliar en el cultivo de soja.

✓ El modelo lineal encontrado para la determinación indirecta del área foliar, puede ser utilizado en forma rápida y sencilla con una variable de fácil medición a campo y no destructiva, para otros estudios agronómicos.

✓ Se requiere el desarrollo de futuras investigaciones sobre diferentes cultivares con distinta morfología foliar para poder continuar con la validación del modelo.

BIBLIOGRAFÍA:

- ANDRIEU B., ALLIRAND J.M. y JAGGARD K. 1997. Ground cover and leaf area index of maize and sugar beet crops. *Agronomie*. 17: 315-321.
- ASCENCIO, J. 1985. Determinación del Area Foliar en plantas de Caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y Batata (*Ipomea batatas* (L.) POIR) utilizando dimensiones lineales y de peso seco de las hojas. Turrialba Vol. 35, No.1, p: 55-64.
- ASTEGIANO E.D., FAVARO J.C. 1987. Desarrollo del área foliar en tres cultivares de tomate. 18° Reunión Nacional de Fisiología Vegetal. Corrientes, Argentina, 4 p.
- ASTEGIANO, E.D.; FAVARO, J.C.; BOUZO, C.A. 2001. Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales* 16: 249-256.
- BAIGORRI, H. 2009. Manejo del cultivo de soja. En: *Manual de manejo del cultivo de Soja*. Buenos Aires. 1ra Edición. p: 17-32.
- BARRANTES, O. y C. A. GRACIA. 1989. Estimación del área foliar a partir de la superficie de albura en *Pinus sylvestris*. *Options Méditerranéennes-Serie Séminaires* 3: 53-56.
- BERGAMIN FILHO, A. y L. AMORIM. 1996. Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. São Paulo, Ceres.
- BOARD, J.E., WIER A.T. y BOETHEL D.J. 1994. Soybean yield reductions caused by defoliation during mid to late seed filling. *Crop Sci* 86: 1074-1079.
- BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. 2014. Mercado de granos. En: <http://www.bcr.com.ar/Pages/Granos/default.aspx>. Consultado: 25-09-2014
- BUGARIN, M. R.; SPINOLA, A. G.; GARCÍA, P. S. y PAREDES, D. G. 2002. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. *Crop Sci* 20: 401-409.
- BURGOS, A.M.; M.M. AVANZA; C.N. BALBI; J. PRAUSE y J.A. ARGUELLO. 2010. Modelos para la estimación no destructiva del área foliar de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en la Argentina. *Agriscientia* 27 : 55-61.

- CABEZAS-GUTIÉRREZ, M.; F. PEÑA., H.W. DUARTE., J.F COLORADO y L. SILVA. 2009. Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 12: 121-130.
- CALDERÓN, F., SOTO., M. CALDERÓN y L. R. FUNDORA.2009. Estimación de área foliar en posturas de mango (*Mangifera indica* L.) y aguacatero (*Persea spp*) en fase de vivero a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos Tropicales* 30: 43-48.
- CASIERRA-POSADA, F., Z. PEÑA y J.E. PEÑA-OLMOS. 2008. Estimación indirecta de área foliar en: *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey y *Ficus carica* L. *Revista U.D.C.A Actualidad Divulgación científica* 11: 95-102.
- CITTADINI, E.D. y P.L. PERI, 2006. Estimation of leaf área in sweet cherry using a non-destructive method. *RIA* 35: 143-150.
- CHRINOS, T., L.CHRINOS., F. GERAUD., O. CASTEJÓN., R. FERNANDEZ., J. VERGARA., L. MÁRMOL y D. CHRINOS. 1997. Modelos para estimar el área foliar de melón híbrido 'Durango'. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 14: 163-171.
- DE LA FUENTE, E. B., A. GIL, P. I. GIMÉNEZ, A. G. KANTOLIC, M. LÓPEZ PEREIRA, E. L. PLOCHUK, D. M. SORLINO, P. VILARIÑO, D. F. WASSNER y L. B. WINDAUER. 2006. Cultivos industriales. 1ª ed. Ed. Facultad de Agronomía de Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. 800 p.
- DEMIRSOY, H. 2009. Leaf area estimation in some species of fruit tree by using models as a non-destructive method. *Fruits*, 64: 45-51.
- DEMIRSOY, H., L. DEMIRSOY., S. UZUN y B. ERSOY.2004. Non-destructive leaf area estimation in peach. *Eur. J. Hort. Sci.* 69:144-146.
- DENGLER, N.G. 1984. Comparison of leaf development in normal (+/+), entire (e/e) and lanceolated (La/+) plants of tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. «Ailsa craig». *Crop Sci* 145: 66-77.
- DI RIENZO, J.A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

- ESPITIA, M.M., R.A. MONTOYA., J.R. ROBLES., C.C BARBOSA y C.A. VERGARA, 2006. Modelo estadístico para estimación del área foliar en *Stevia rebaudiana* Bertoni en el Sinu Medio. *Temas Agrarios*. 11: 45-51.
- FLEISHER, D.H. y D.J. TIMLIN. 2006. Modeling expansion of individual leaves in the potato canopy. *Agric. For. Met.* 139:84-93.
- GARCÉS-FIALLOS, F. y C. A. FORCELINI. 2011. Peso de hojas como herramienta para estimar el área foliar en soja. *Ciencia y Tecnología* 4: 13-18.
- GARCIA-CORONA, I., M.J. VILLALBA-FONTES y R. GARCIA-DIAZ. 2010. La estimación no destructiva del área foliar en *Swietenia macrophylla* King. *VI Simposio Internacional sobre manejo sostenible de recursos forestales*. Pinar del Río. Cuba. 5 p.
- GIANCOLA, S; M.L. SALVADOR; M. COVACEVICH y G. IURRIOZ. 2009. Análisis de la cadena de soja en Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. 3^{ra} edición. Cap. 1. p: 13-18.
- GOENAGA R., U. SINGH., 1996. Estimation of leaf area of taro (*Colocasia esculenta* Schott.) from linear measurements. *J. Agric. University*. Puerto Rico. p: 183-185.
- GUTIERREZ, T. y A. LAVÍN. 2000. Linear measurements for non destructive estimation of leaf area in 'Chardonnay' vines. *Agricultura Técnica* 60: 69-73.
- HICKS, D. 1983. Crecimiento y desarrollo En: *Fisiología, mejoramiento, cultivo y utilización de la soja*. Editorial Hemisferio Sur. p: 19-43.
- JORGE Y. y F. GONZALEZ. 1997. Estimación del área foliar en los cultivos de ají y tomate. *Agrotecnia de Cuba* 27: 123-126.
- KANDIANNAN, K., C. KAILASAM., K.K. CHANDARAGIRI y N. SANKARAN. 2002. Allometric model for leaf area estimation in black pepper (*Piper nigrum* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 188: 138-140.
- KANTOLIC, A. y E. SATORRE. 2004. Elementos centrales de ecofisiología del cultivo de soja. En: *Manual práctico para la producción de soja*. 1ra edición. Buenos Aires. p: 19-37.

- KANTOLIC, A., P. GIMÉNEZ y E. DE LA FUENTE. 2004. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad de soja. En: *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo*. 2da edición. Buenos Aires. p: 167-195.
- KURT, O., H. UYSAL y S. UZUN. 2005. Non-destructive leaf area estimation of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Pakistan J. Bot.* 37: 837-841.
- KVET J. y J.K. MARSHALL. 1971. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. En: *Plant Photosynthetic Production: Manual of Methods*. The Hague. Junk. p: 517-574.
- LIZASO, J.I., W.D. BATCHELOR y M.E. WESTGATE. 2003. A leaf area model to simulate cultivar specific expansion and senescence of maize leaves. *Field Crops Res.* 80: 1-17.
- MAGyA. 2014. Estimaciones de campañas agrícolas. En: <http://magya.cba.gov.ar/Umsiia.aspx>. Consultado: 25-09-2014
- MALDANER I. C., A.B. HELDWEIN., L.H. LOOSE., D.D. PITOL LUCAS., F.I. GUSE y M.P. BORTOLUZZI. 2009. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. *Cienc. Rural*. Vol. 39 N° 5.
- MARTIN, G.M.; F. SOTO; R. RIVERA; M. RENTERÍA.2006. Estimación de la superficie foliar de *Canavalia ensiformis* a partir de las medidas lineales de sus hojas. *Cultivos Tropicales* 27: 77-80.
- MEZA, N. y D. BAUTISTA. 1999. Estimación del área foliar en plantas jóvenes de Níspero (*Manilkara achras*, Millar, Fosberg) sometidas a dos ambientes de luz. *Bioagro* 11: 24-28.
- MONTGOMERY, S. P., J.S. DROUILLARD., E.C. TITGEMEYER., J.J. SINDT., T.B. FARRAN., J.N. PIKE., C.M. COETZER., A.M. TRATER y J.J. HIGGINS. 2004. Effects of wet corn gluten feed and intake level on diet digestibility and ruminal passage rate in steers. *J. Anim. Sci.*, 82: 3526-3536.
- MYERS, R. H. 1990. Classical and modern regression with applications. En: WWW. Puc.cl/sweduc/hort0498/HTML/p034.html. Consultado: 26-10-2014.
- NAUTIVAL, B.M., P.K .SINGH., R.N. SUKLA., S. PRAKASH. y A. KUMAR. 1990. Correcting leaf area measurement by conventional methods: a new approach for apple (*Malus domestica* Borkh). *J. Hort. Sc.* 65: 15-18.

- PEKSEN, E. 2007. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae*. 113: 322-328.
- PEROTTI, E. y J.C. GAMUNDI. 2009. La importancia de saber proteger oportunamente las hojas del cultivo de soja. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Oliveros 2009, Para Mejorar la Producción 42. p: 113-117.
- PIPER, E., K. BOOTE., J. JONES y S. GRIMM. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flower and maturity date of soybean. *Crop Sci*. 36: 1606-1614
- PIRE, R. y I. VALENZUELA. 1995. Estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. “French Colombard” a partir de mediciones lineales en las hojas. *Agronomía Tropical* 45: 143-154.
- RUIZ-ESPINOZA, F.H., B. MURILLO-AMADOR., J. L. GARCÍA-HERNÁNDEZ., E. TROYO-DIÉGUEZ., A. PALACIOS-ESPINOZA., A. BELTRÁN-MORALES., L. FENECH-LARIOS., S. ZAMORA-SALGADO y P. MARRERO-LABRADOR. 2007. Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13: 29-34.
- SADRAS, V., M. FERREIRO., F. GUTHEIM y A. KANTOLIC, 2009. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. En: *Bases para el manejo del Maíz, el Girasol y la Soja*. Buenos Aires. p: 19-39.
- SIMON, M., A. TRUJILLO DE LEAL. 1990. Determinación del área foliar en cinco clones de ocumo (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) O.Schott). *Crop Sci*. 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. C.; WEARDEN, S.; PAULI, A. W. 1961. Leaf area determination in grain sorghum. *Agr. J*. 53: 187-188.
- TSIALTAS, J.T. y N. MASLARIS. 2005. Leaf area estimation in a sugar beet cultivar by linear models. *Photosynthetica* 43: 477-479.
- WELLES J.M., J.M. NORMAN. 1991. Instrumental for indirect measurement of canopy architecture. *Agron. J*. 83, 818-825.

- WHIGHAM, D. y H. MINOR. 1983. Características agronómicas en relación con el estrés ambiental. En: *Fisiología, mejoramiento, cultivo y utilización de la soja*. Buenos Aires, Argentina. p:79-119
- WILLIAMS, L. y T.E. MARTINSON. 2003. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. *Scientia Horticulturae* 98: 493–498.
- WINFOLIA. 2004. WinFolia Software Program for leaf analysis. v. Reg. 2004a. Regent Instruments Inc.

ANEXOS

ANEXO 1: Tabla de análisis de regresión lineal simple para las variables ancho, largo y peso seco.

Ancho:

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Area	900	0,94	0,94	4,67	3940,91	3955,31

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-12,54	0,32	-13,17		-11,91	-39,23	<0,0001
Ancho	7,93	0,06	7,80		8,05	122,87	<0,0001
	15080,15						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	70168,01	1	70168,01	15095,94	<0,0001
Ancho	70168,01	1	70168,01	15095,94	<0,0001
Error	4174,03	898	4,65		
Total	74342,04	899			

Largo:

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Area	900	0,76	0,75	20,36	5266,01	5280,42

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	
	CpMallows						
const	-23,52	0,95	-25,38		-21,66	-24,82	<0,0001
Largo	6,38	0,12	6,15		6,62	52,64	<0,0001
	2768,74						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56145,70	1	56145,70	2770,82	<0,0001
Largo	56145,70	1	56145,70	2770,82	<0,0001
Error	18196,34	898	20,26		
Total	74342,04	899			

Peso seco:

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Area	900	0,86	0,86	11,25	4731,48	4745,89

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows						
const	7,64	0,26	7,12	8,16	29,00	<0,0001
Peso (gr)	116,83	1,54	113,80	119,85	75,81	<0,0001

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64294,78	1	64294,78	5746,51	<0,0001
Peso (gr)	64294,78	1	64294,78	5746,51	<0,0001
Error	10047,26	898	11,19		
Total	74342,04	899			

ANEXO 2: Tabla de análisis de regresión lineal polinómica de 2º grado para las variables ancho, largo y peso seco.

Ancho:

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Area	900	0,95	0,95	4,21	3847,80	3867,01

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows						
const	-3,06	1,00	-5,02	-1,11	-3,08	0,0022
Ancho	3,70	0,43	2,87	4,54	8,68	<0,0001
77,26						
Ancho ²	0,44	0,04	0,36	0,53	10,00	<0,0001
101,87						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	70586,59	2	35293,30	8429,90	<0,0001

Ancho	70168,01	1	70168,01	16759,83	<0,0001
Ancho^2	418,58	1	418,58	99,98	<0,0001
Error	3755,45	897	4,19		
Total	74342,04	899			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	70586,59	2	35293,30	8429,90	<0,0001
Ancho	70586,59	2	35293,30	8429,90	<0,0001
Error	3755,45	897	4,19		
Total	74342,04	899			

Largo:

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Area	900	0,76	0,76	20,29	5261,67	5280,88

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows						
const	-13,35	4,15	-21,49	-5,21	-3,22	0,0013
Largo	3,58	1,12	1,38	5,78	3,20	0,0014
Largo^2	0,19	0,07	0,04	0,33	2,52	0,0120

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56273,47	2	28136,74	1396,83	<0,0001
Largo	56145,70	1	56145,70	2787,31	<0,0001
Largo^2	127,77	1	127,77	6,34	0,0120
Error	18068,57	897	20,14		
Total	74342,04	899			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56273,47	2	28136,74	1396,83	<0,0001
Largo	56273,47	2	28136,74	1396,83	<0,0001
Error	18068,57	897	20,14		
Total	74342,04	899			

Peso seco:

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows						
const	5,19	0,50	4,22	6,17	10,47	<0,0001
Peso (gr)	151,57	6,20	139,40	163,74	24,44	<0,0001
598,51						
Peso (gr)^2	-100,46	17,39	-134,59	-66,32	-5,78	<0,0001
35,33						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64655,10	2	32327,55	2993,49	<0,0001
Peso (gr)	64294,78	1	64294,78	5953,62	<0,0001
Peso (gr)^2	360,32	1	360,32	33,36	<0,0001
Error	9686,94	897	10,80		
Total	74342,04	899			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64655,10	2	32327,55	2993,49	<0,0001
Peso (gr)	64655,10	2	32327,55	2993,49	<0,0001
Error	9686,94	897	10,80		
Total	74342,04	899			