

75241

SAGARDY, MARIA VIRGINIA

Designación indicada del autor sobre el título de uso

2016 75241





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))

Sagardoy, Maria Virginia

DNI: 35.545.289

Director: Giuggia, Jorge

Río Cuarto- Córdoba

07/2016

14557

| |
|----------|
| MFM |
| Clasif: |
| Av - 802 |

75241



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: Sagardoy, Maria Virginia

DNI: 35.545.289

Director: Giuggia, Jorge

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Núñez, César

Giovanini, Diego

Giuggia, Jorge

Fecha de presentación:

05 / Julio / 2016

Secretario Académico

Wsc. DANIEL ZUBELDÍA
Secretaría Académica



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Nestor y Emilse por todo el apoyo y aliento incondicional que me han brindado en todos estos años de carrera y a lo largo de mi vida, guiándome por el buen camino para lograr cada una de mis metas. Son y serán el sostén de mi vida.

A mis hermanas, Agostina y Rocio por acompañarme y bancarme en todas las circunstancias de la vida, siendo las mejores compañeras y confidentes.

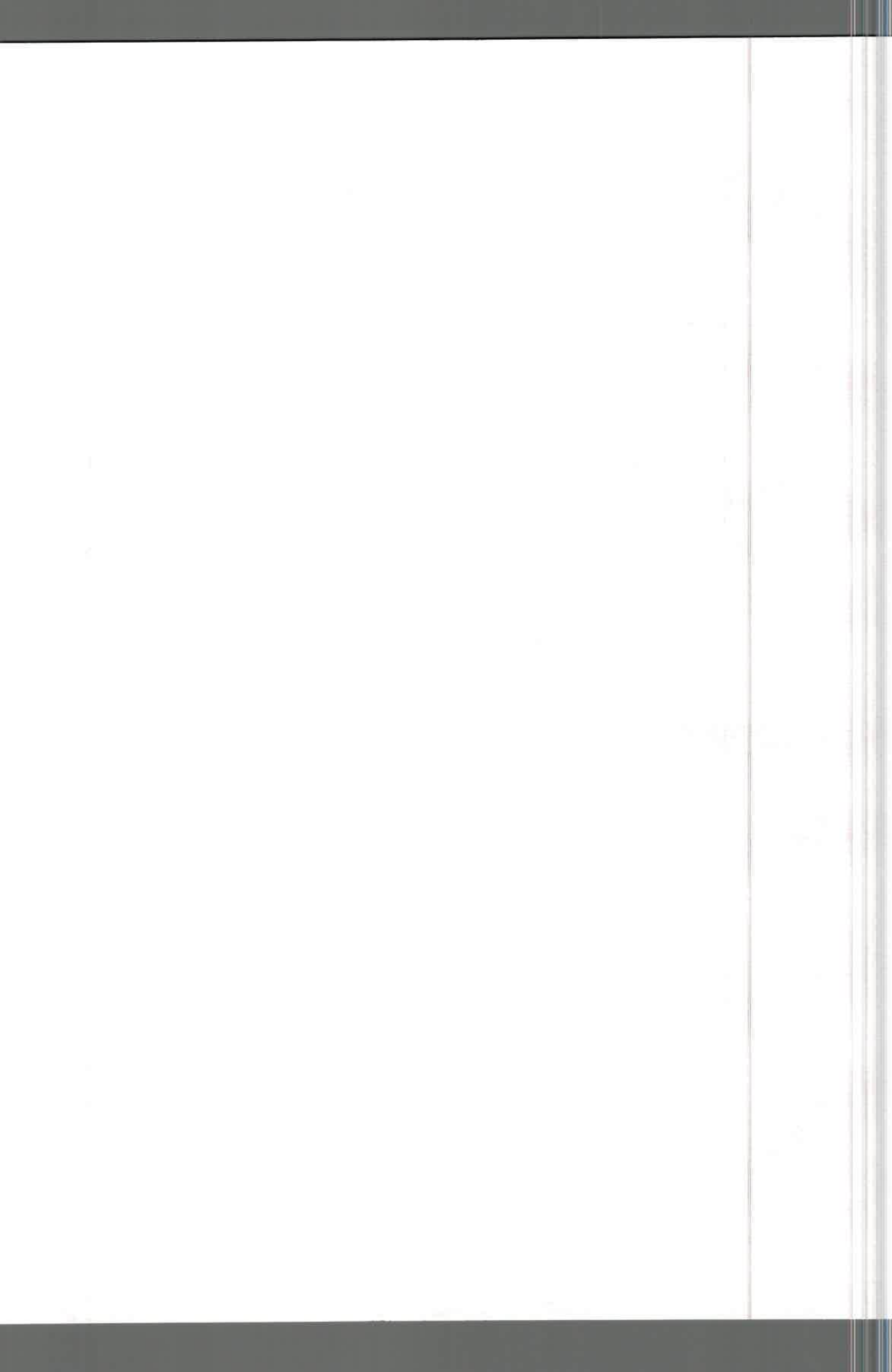
A mi novio Leandro, por estar a mi lado en estos años, dándome todo su amor y contención, ayudándome a superar cada uno de los obstáculos. Estoy eternamente agradecida de tenerte en mi vida.

A mis amigas, Valesca, Mercedes y Camila por su amistad inigualable, gracias por haberme alentado siempre y tener las palabras justas para cada momento.

Al Ingeniero Jorge Giuggia por haberme guiado en la confección de mi trabajo final y por todos los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del mismo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| RESUMEN | VIII |
| SUMMARY | XI |
| INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES | 1 |
| HIPÓTESIS | 6 |
| OBJETIVOS | 6 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 6 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 8 |
| DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE ÁREA FOLIAR REAL Y | 8 |
| MEDIDAS MORFOMÉTRICAS DE LOS FOLIOLOS | |
| VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES OBTENIDAS | 16 |
| CONCLUSIONES | 20 |
| BIBLIOGRAFÍA | 21 |
| ANEXOS | 27 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en estudio y el área foliar de los folíolos principales. | 8 |
| Tabla 2: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en estudio y el área foliar de los folíolos totales. | 8 |
| Tabla 3: Valores de R^2 , EMCP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal simple ajustada de folíolos principales, para cada variable evaluada. | 9 |
| Tabla 4: Valores de R^2 , EMCP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal simple ajustada de folíolos totales, para cada variable evaluada. | 9 |
| Tabla 5: Valores de R^2 , EMCP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal polinómica de 2° grado ajustada de folíolos principales, para cada variable evaluada. | 9 |
| Tabla 6: Valores de R^2 , EMCP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal polinómica de 2° grado ajustada de folíolos totales, para cada variable evaluada. | 10 |
| Tabla 7: Ecuaciones de regresión lineal simple para estimación del área foliar en base al ancho, largo y ancho x largo de los folíolos principales. | 15 |
| Tabla 8: Ecuaciones de regresión lineal simple para estimación del área foliar en base al ancho, largo y ancho x largo de los folíolos totales. | 15 |
| Tabla 9: Ecuaciones de regresión lineal polinómica de 2° grado para estimación del área foliar en base al ancho, largo y ancho x largo de los folíolos principales. | 15 |
| Tabla 10: Ecuaciones de regresión lineal polinómica de 2° grado para estimación del área foliar en base al ancho, largo y ancho x largo de los folíolos totales. | 15 |

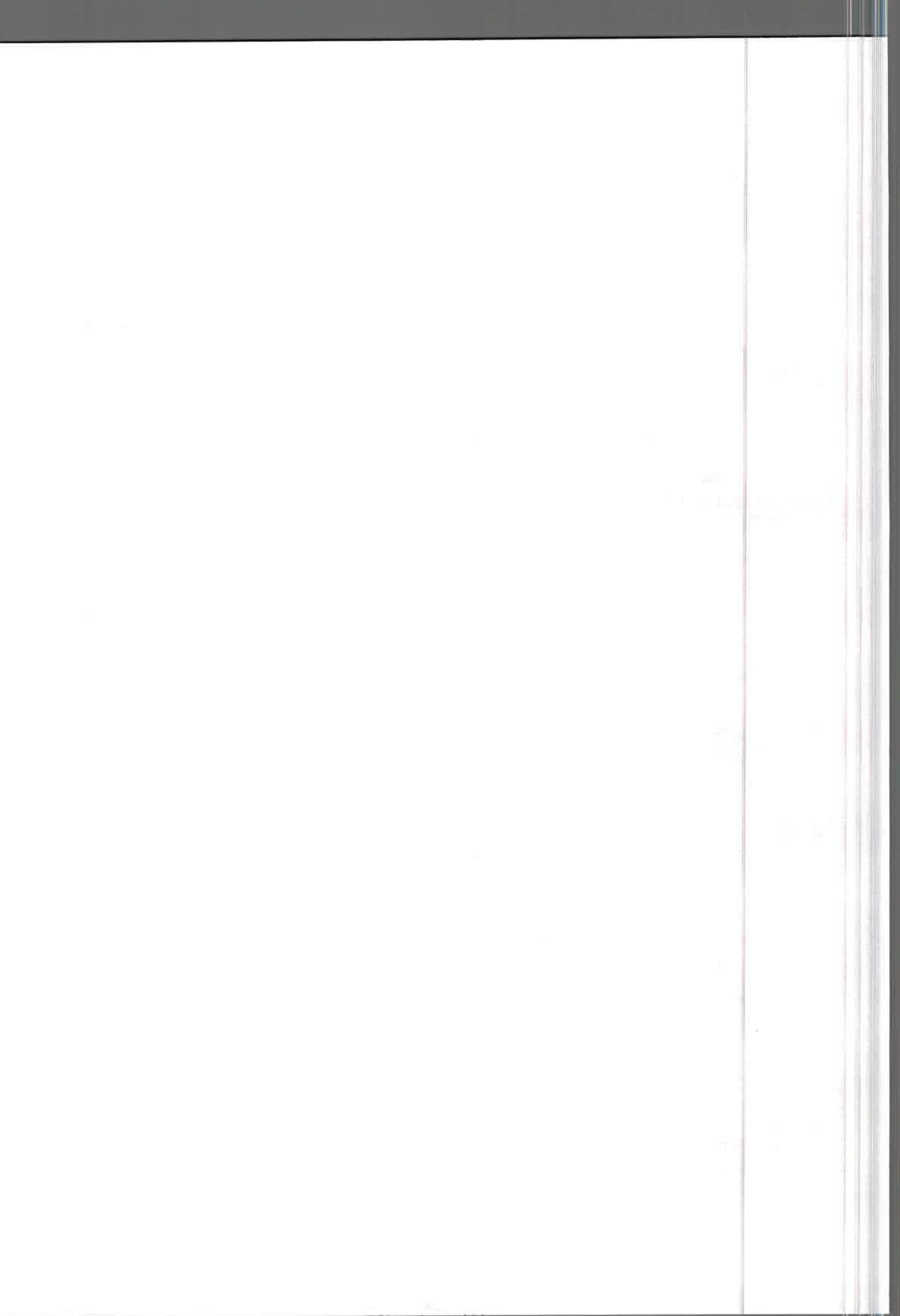


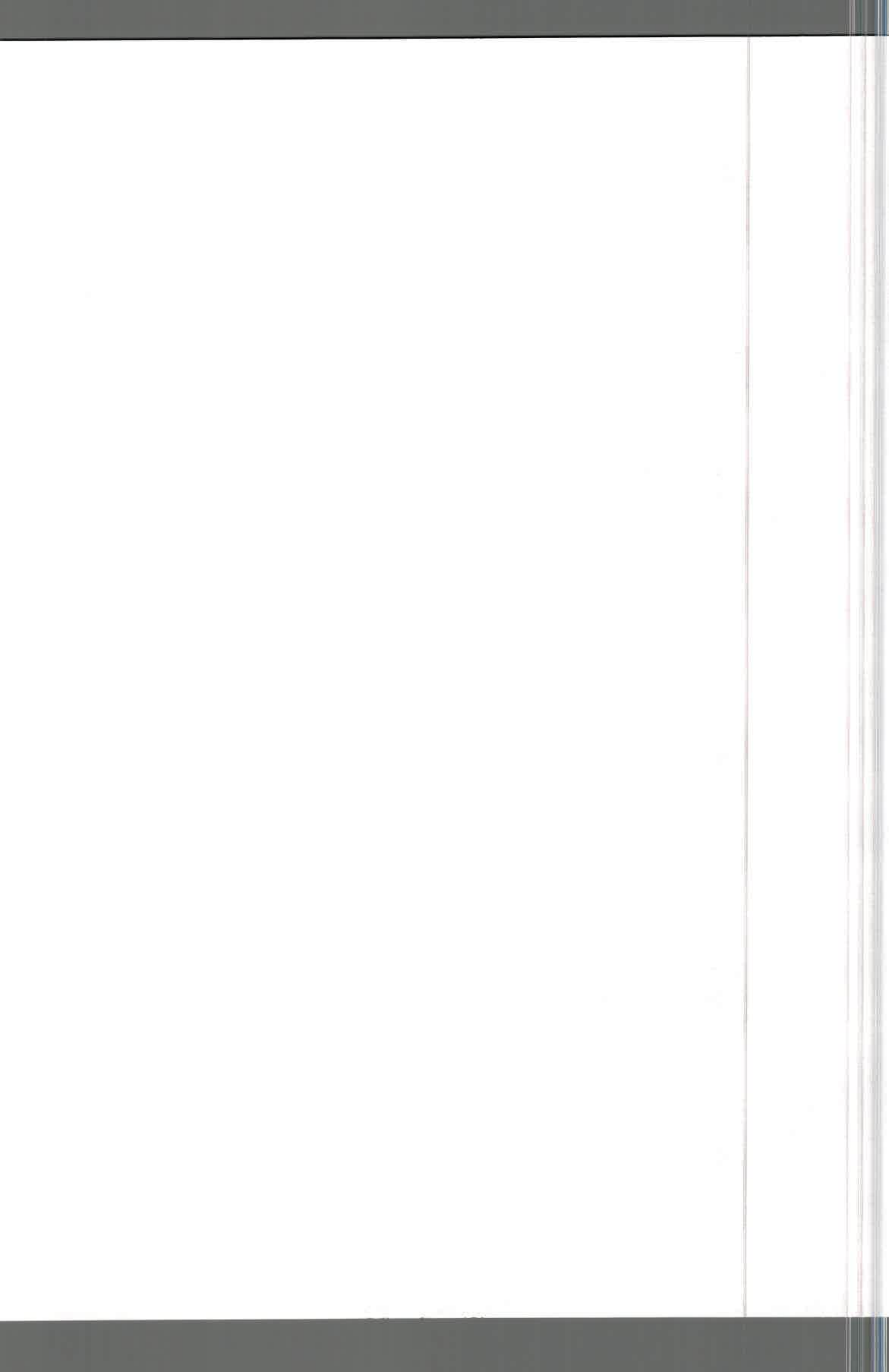
Tabla 11: Valores de coeficientes de determinación R^2 , EMCP, AIC y valor p, 16
obtenidos de la regresión lineal entre área foliar observada y área foliar estimada
por ancho x largo de los folíolos totales.

Tabla 12: Valores de coeficientes de determinación R^2 , EMCP, AIC y valor p, 17
obtenidos de la regresión lineal entre área foliar observada y área foliar estimada por
ancho x largo de los folíolos principales.



ÍNDICE DE FIGURAS

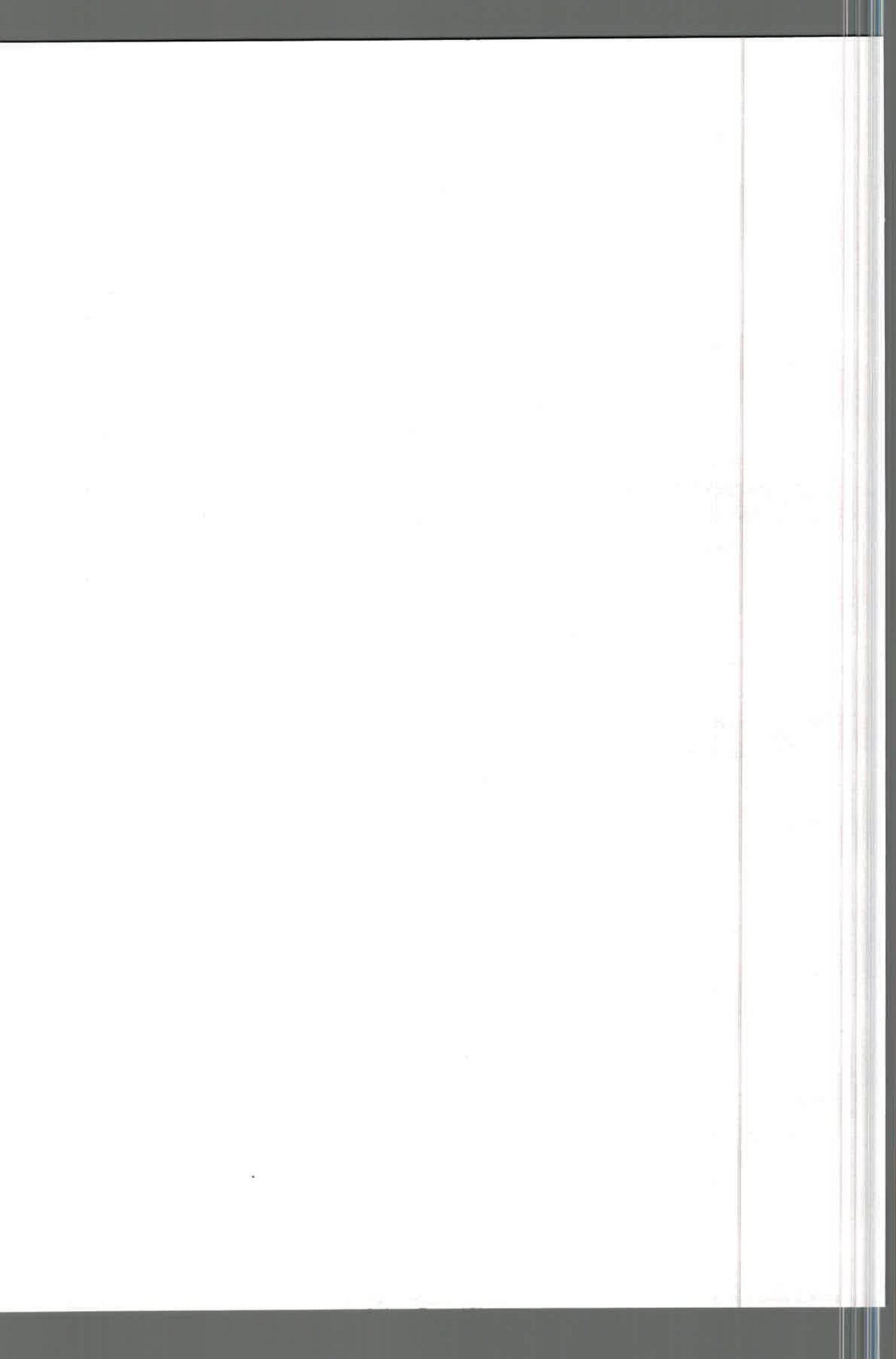
| | |
|---|----|
| Figura 1: Diagramas de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el ancho, largo y ancho x largo de los folíolos principales. | 10 |
| Figura 2: Diagramas de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el ancho, largo y ancho x largo de los folíolos totales. | 11 |
| Figura 3: Diagramas de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el ancho, largo y ancho x largo de los folíolos principales. | 11 |
| Figura 4: Diagramas de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el ancho, largo y ancho x largo de los folíolos totales. | 12 |
| Figura 5: Residuos estudentizados del análisis de regresión lineal simple para las variables analizadas en folíolos principales. | 13 |
| Figura 6: Residuos estudentizados del análisis de regresión lineal simple para las variables analizadas en folíolos totales. | 13 |
| Figura 7: Residuos estudentizados del análisis de regresión lineal polinómica de 2° grado para las variables analizadas en folíolos principales. | 14 |
| Figura 8: Residuos estudentizados del análisis de regresión lineal polinómica de 2° grado para las variables analizadas en folíolos totales. | 14 |
| Figura 9: Diagrama de dispersión de la regresión lineal entre el área foliar observada y el área foliar estimada, a partir de la ecuación lineal simple de la variable ancho x largo de folíolos principales. | 17 |



RESUMEN

Para la determinación del área foliar existen diversos procedimientos. Estos pueden clasificarse en destructivos y no destructivos, tanto directo 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 morfométricas de los folíolos (largo y ancho) y el producto de ambas variables, 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. Luego con los valores obtenidos se obtuvo el producto del largo y ancho de cada folíolo. Los datos logrados fueron sometidos a análisis de correlación de Pearson, y de regresión simple y polinómica de segundo grado, obteniéndose ecuaciones para cada variable (ancho, largo y ancho x largo). Se realizó también la validación de los datos de área estimada (a través de la variable obtenida del producto del ancho x el largo, 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 largo x ancho resultó ser positiva en ambos modelos. Al considerar otros criterios de selección (EMCP, AIC, estadísticos) la regresión lineal simple mostró mejor precisión para estimar el área foliar, además de los resultados obtenidos de folíolos principales. A partir de los datos logrados se concluye que el producto de ancho x largo del folíolo es una medida precisa para la determinación del área foliar en el cultivo de soja.

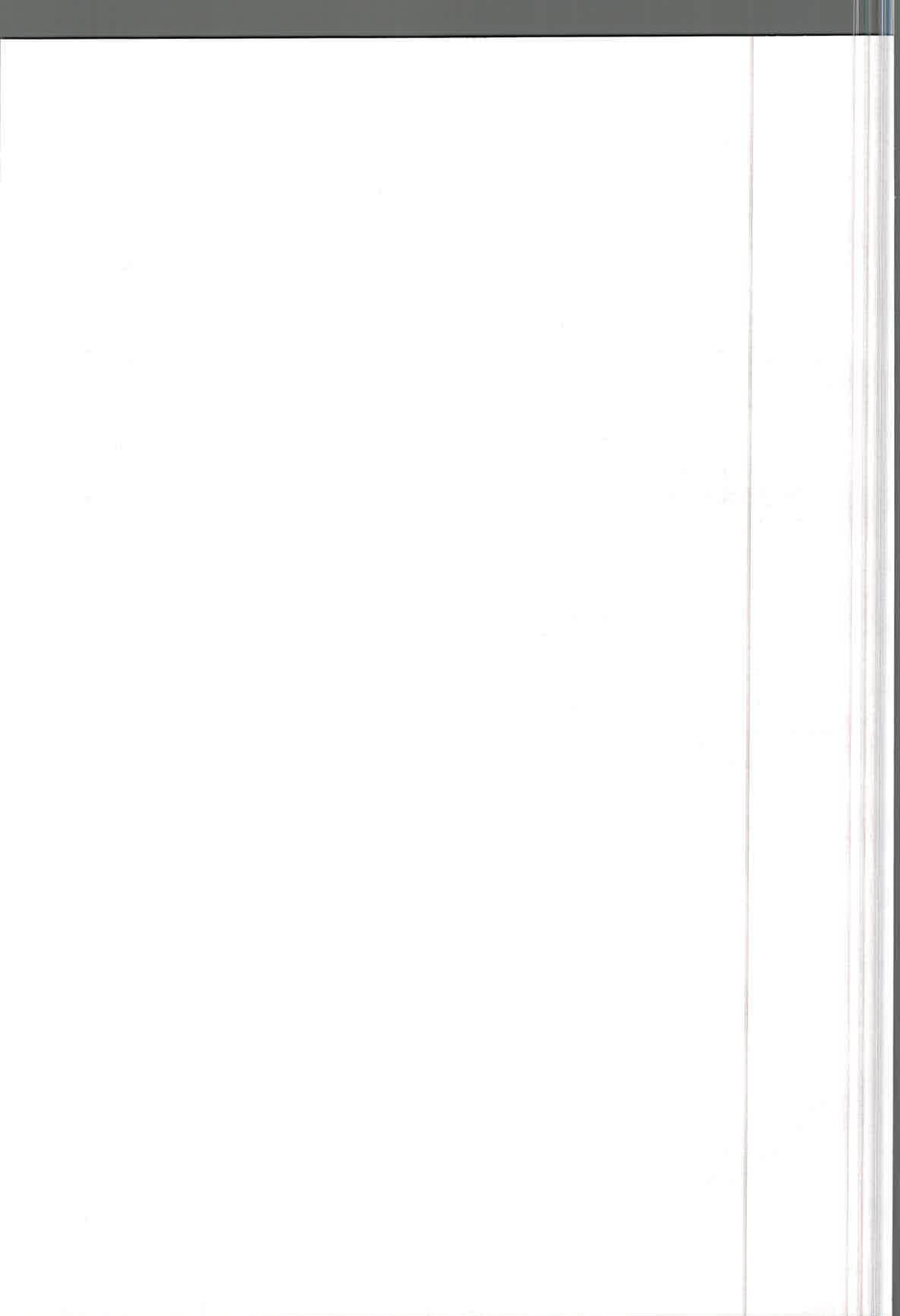
Palabras clave: soja, área foliar, estimación indirecta.



SUMMARY

To determine the leaf area there are several procedures. These can be classified into destructive and non-destructive, both direct and indirect. Direct measurement requires expensive equipment and not easily usable. It is therefore very practical to have indirectly equations allowing estimate leaf area quickly, easily and accurately field from easily measured variables. This study aims to establish the relationship between the morphometric measures (length and width) leaflets and the product of both variables, with the leaf area of soybean cultivation. For this 300 sheets at random from the three layers of the crop (upper, middle and lower) were extracted. Leaflets were analyzed with the software Winfolia for the purpose of determining: leaf area and measures length and width of each leaflet. Then with the values obtained the product of the length and width of each leaflet was obtained. The data obtained were subjected to Pearson correlation analysis, and analysis of simple linear regression and quadratic polynomial, and equations obtained for each variable (width, length and width x length). The validating data of the estimated area (Through the variable obtained product width x length which turned out to have better fit) and the observed area by simple linear regression and quadratic polynomial was also performed. The correlation between foliar and wide area, long length x width turned out to be positive in both models. When considering other criteria (EMCP, AIC, statistical) simple linear regression showed better precision to estimate the leaf area, besides the main results of leaflets. From the achieved data it is concluded that the product of the width x length of the leaflet is an accurate measure for determining the leaf area of soybean cultivation.

Keywords: soybean, leaf area, indirect estimation.



INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

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

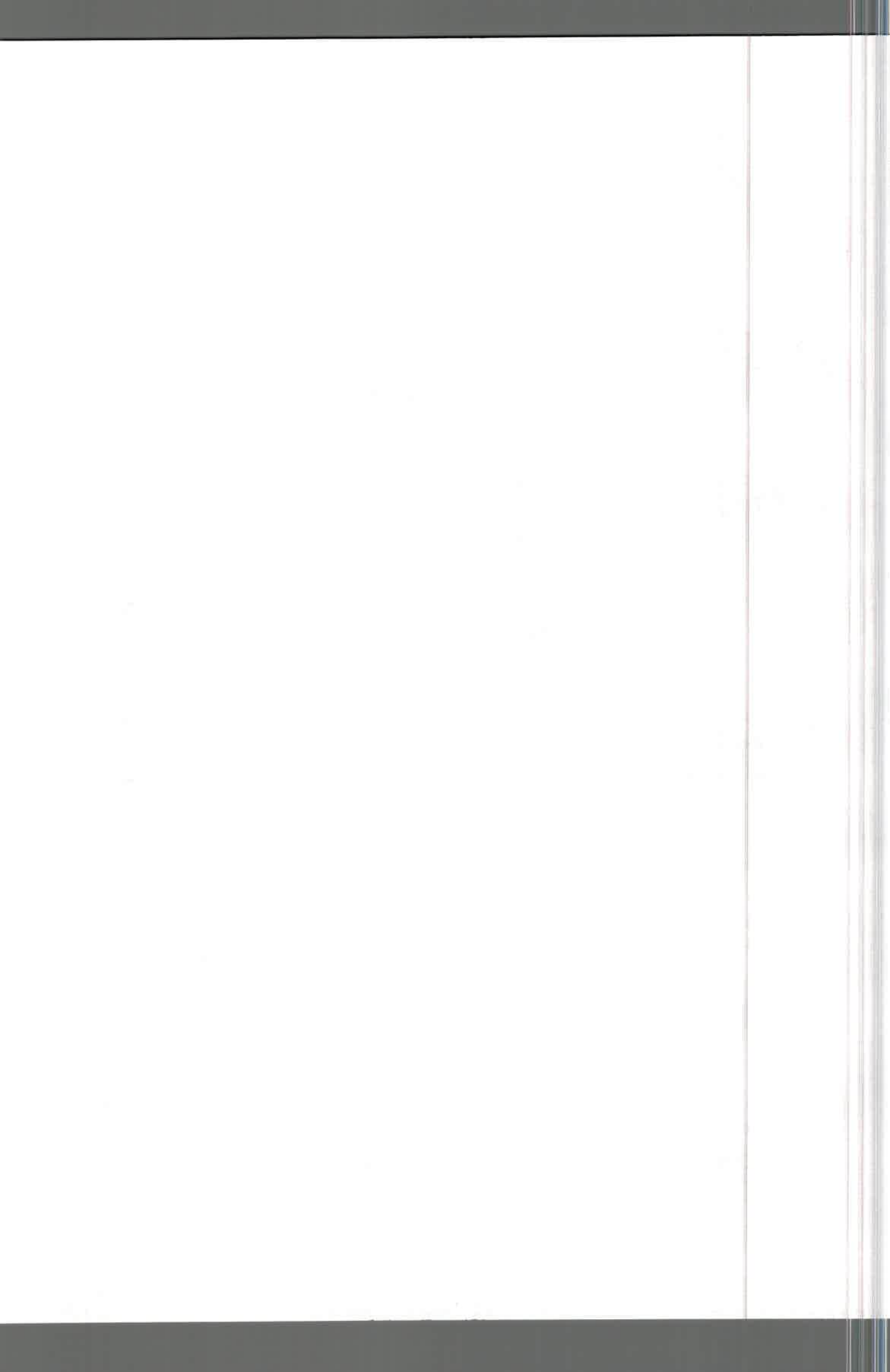
En base a las observaciones en las distintas áreas productivas de la República Argentina, es posible estimar la producción de soja nacional en 59 millones de toneladas para la campaña 2015/16. El número surge de una estimación de rinde promedio nacional de 30,3 qq/ha y una superficie implantada de 20,3 millones de hectáreas. (BCR, 2016).

En lo que respecta a la provincia de Córdoba, según una estimación realizada por el departamento de información agroeconómica de la Bolsa de Cereales de Córdoba, se encuentran 5.229.100 hectáreas sembradas, de las cuales 4.912.000 hectáreas son cosechables y 317.100 hectáreas se han perdido o perderán debido a las abundantes lluvias que han afectado en el mes de febrero a esta provincia. (BCCBA, 2016).

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). (BCR, 2016).

Este cultivo es afectado por numerosas enfermedades y plagas que provocan distintos tipos de daños los que pueden agruparse en: (i) aquellas que reducen el número de plantas establecidas por unidad de superficie, (ii) aquellas que reducen la producción y partición de materia seca, y (iii) aquellas que afectan la calidad del grano (De la Fuente *et al.*, 2006). Dentro de la segunda categoría mencionada se encuentran las orugas defoliadoras, cuyo daño implica pérdida de área foliar. En orden decreciente de importancia por el daño que producen, en la región del sur de Córdoba, encontramos las siguientes especies: *Rachiplusia nu* Guenne, 1852 (isoca medidora), *Spodoptera frugiperda* Smith & Abbot, 1797 (oruga militar tardía), *Helicoverpa gelotopoeon* Dyar, 1921 (isoca bolillera), *Anticarsia gemmatalis* Hubner, 1818 (oruga de las leguminosas) y *Spilosoma virginica* Fabricius, 1798 (gata peluda norteamericana).

La disminución de 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 período de llenado de granos (Board *et al.*, 1994). Algunos autores determinaron que con defoliaciones producidas en el estado fenológico R5 existe una relación lineal entre el nivel de defoliación y la disminución de rendimiento (Perotti y Gamundi, 2006), mientras que otros reportaron funciones lineales y cuadráticas, según el estado fenológico en el que se produce la defoliación (Browde *et al.*, 1994). Herbert *et al.* (1992) proponen que no es el porcentaje de



defoliación lo que predice el rendimiento, sino que el área foliar remanente luego de la defoliación lo hace con mayor precisión.

En el desarrollo de estrategias de protección de cultivos contra plagas insectiles se han establecido modelos en los cuales la estimación del área foliar destruida por insectos es muy importante para definir niveles de daño y realizar el control antes de que causen pérdidas económicas (Ebert y Derksen, 2004).

El índice de área foliar (IAF), definido como el cociente entre el área foliar y una unidad de superficie, está altamente relacionado con el rendimiento del cultivo de soja; por lo tanto defoliaciones que reduzcan el IAF por debajo de un rango crítico, generalmente reducen el rendimiento. Asimismo condiciones que disminuyan el IAF óptimo como las siembras tardías, grupos de ciclo corto, menor densidad de siembra, mayor espaciamiento entre líneas de siembra, condiciones de sequía y baja fertilidad hacen que el cultivo de soja sea más susceptible a la defoliación (Perotti y Gamundi, 2009).

El cálculo del IAF de un cultivo requiere información sobre: la densidad de plantas por metro cuadrado, y el área foliar media de cada planta. La primera es fácilmente obtenida a partir del conteo del número de plantas, mientras que la segunda es producto de un proceso más complejo (Garcés-Fiallos y Forcelini, 2011).

Como consecuencia de la importancia de disponer de una cuantificación del área foliar, numerosos trabajos de investigación han abordado su estudio a lo largo del tiempo, lo que ha dado lugar a la descripción de numerosos métodos para su valoración (Dengler, 1984; Astegiano y Favaro, 1987; Payne *et al.*, 1991; Jatimliansky y Gimenez, 1993; Troiani y Mirasson, 1996; Astegiano *et al.*, 2001; Legorburo Serra, 2005).

Dada la cantidad y diversidad de métodos propuestos para cuantificar el área foliar, la elección del mejor método dependerá, en cada caso, de cuanto material vegetal se pueda medir, de la precisión necesaria, del tiempo y del personal disponible (Kvet y Marshall, 1971) y de si es necesario o no mantener inalterado el entorno de la planta (Legorburo Serra, 2005).

Los métodos indirectos emplean alguna propiedad variable de la hoja que se pueda medir y que esté correlacionada con el área foliar. Todos ellos precisan menos tiempo y trabajo que los métodos directos, pero en muchos casos conlleva la destrucción de las hojas medidas (Legorburo Serra, 2005). Entre los mismos se destacan los que utilizan correlaciones alométricas entre magnitudes de las hojas y el área foliar (Coombs y Hall, 1982; 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 general (Welles y Norman, 1991; Watanabe *et al.*, 1997; Kucharik *et al.*, 1998).

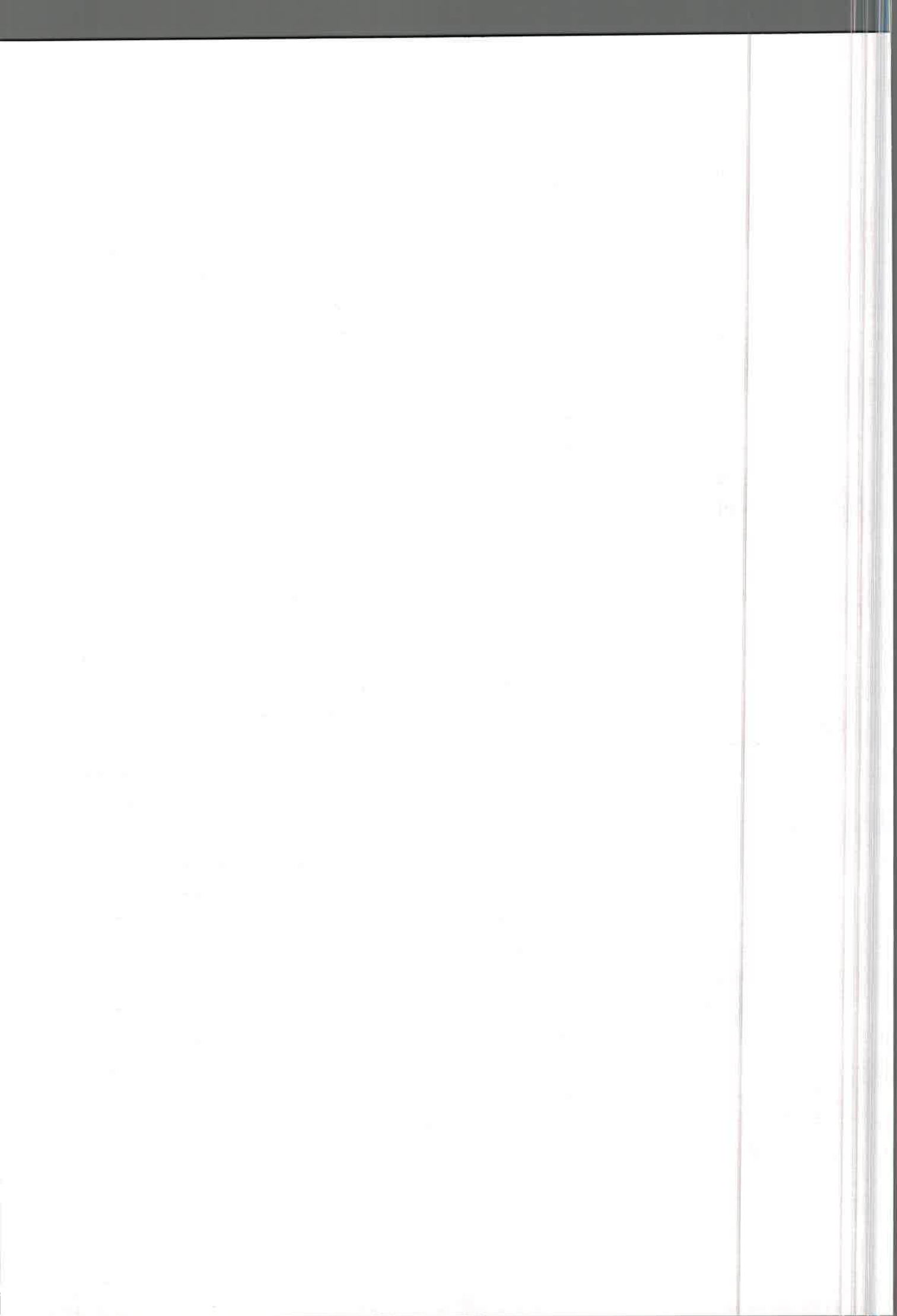


Por otra parte, los métodos directos miden el área directamente sobre la hoja con la ayuda de algún instrumento, pero conlleva mucho tiempo, trabajo y equipos de alto costo, por ello su uso es limitado (Astegiano *et al.*, 2001; Legorburo Serra, 2005). Dentro de estos encontramos diferentes métodos, como el papel milimetrado (Goodall, 1947; Winter *et al.*, 1956), el planimétrico (Brown y Escombe, 1905; Clements y Goldsmith, 1924; Frear, 1935; Miller, 1938; Paquin y Coulombe, 1959; Daughtry, 1990; Nyakwende *et al.*, 1997) y el gravimétrico (Frear, 1935; Miller, 1938; Ruck y Bolas, 1955).

Los métodos comparativos emplean plantillas o modelos de área conocida con los que se comparan las hojas a medir. La estimación se realiza de manera bastante rápida, pero se requiere un trabajo previo considerable, lo que dificulta su utilización (Darrow, 1932; Williams, 1954; Thorne y Watson, 1955; Humphries y French, 1963; Williams *et al.*, 1964; Carbonneau, 1976) o, en algunos casos, su uso no está muy difundido (Freeman y Bolas, 1956; Humphries y French, 1964).

La utilización de métodos basados en el análisis de imágenes supone disponer de la imagen digitalizada de la hoja para posteriormente realizar mediciones sobre ella. El área foliar se medirá, en las imágenes almacenadas, mediante alguno de los programas informáticos de tratamiento de imágenes disponibles en el mercado en cada momento o con alguno que pueda ser desarrollado a tal efecto. El método supone la destrucción de la muestra cuando la captación de la imagen se realice en el laboratorio, sin embargo, esto no será así cuando el instrumento empleado sea portátil y se pueda emplear en el campo. Los inconvenientes que presenta este método, tales como el alto costo de los equipos o el alto consumo de tiempo y de trabajo que requieren, sobre todo con hojas de pequeñas dimensiones, pueden incidir a la hora de restringir su utilización. (Kershaw y Larsen, 1992)

Las desventajas e inconvenientes presentes en los métodos anteriores explican la amplia difusión de los métodos de estimación derivados de medidas lineales de las hojas (Astegiano *et al.*, 2001). Estos se basan en el establecimiento de una relación matemática entre el área foliar y alguna característica de la hoja que se pueda medir. Por un lado encontramos los métodos de estimación basados en medidas lineales foliares y por otro, los basados en la relación entre el área foliar y el peso. En los primeros, los parámetros lineales más empleados para ser relacionados con el área foliar son la longitud y el ancho de la hoja. El método ha sido muy empleado a lo largo del tiempo por la facilidad que supone su uso cuando existe alguna relación matemática basada en algún parámetro lineal fácil de medir. Las funciones empleadas para estimar el área foliar en función de las medidas lineales de las hojas 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).

Es claro que un modelo o ecuación que permite estimar el área foliar es de gran utilidad práctica, cuando se trata, por ejemplo, de evaluar el efecto de las distintas condiciones estresantes en los sistemas de producción agrícola transformándose en herramienta para dar respuesta a interrogantes, tales como: ¿qué tanto está disminuyendo o aumentando el área foliar total? y ¿cómo influye en los rendimientos? Por otra parte, la estimación del área foliar, también es de gran utilidad cuando se trata de ajustar poblaciones de plantas para obtener el índice de área foliar crítico (IAF crítico) o sea, aquel que intercepta el 95% de la radiación incidente con el consecuente aumento significativo de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC).

En la medida en que el IAF aumenta, la TCC también lo hace hasta que el dosel intercepta el 95% de la radiación; por encima de un IAF crítico, la TCC no incrementa significativamente (Monteith 1965, Squire 1990). Las ecuaciones que relacionan linealmente el área foliar y el ancho, largo o el producto de la longitud por el ancho de la hoja, han sido objeto de multitud de trabajos. Por ejemplo, McKee (1964) obtuvo un coeficiente que permite conocer el área foliar en maíz (*Zea mays* L.), empleando como variable independiente el producto de la longitud por el ancho. La misma relación ya había sido probada en algodón (*Gossypium hirsutum* L.), con buenos resultados. (Ashley *et al.*, 1963)

En estudios realizados por Lu *et al.* (2004) emplearon medidas lineales de longitud y ancho de diversas partes de la hoja de taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), encontrando que las mejores predicciones se conseguían al emplear el producto de alguna de las medidas de longitud con alguna de las medidas de ancho.

Payne *et al.* (1991), con mijo perla (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), obtuvieron correlaciones muy altas entre el área foliar y el producto de la longitud por el ancho de la hoja. Astegiano *et al.* (2001) determinaron que la función que mejor estimaba el área foliar en varios cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), es una función lineal, donde el producto de la longitud por el ancho máxima de la hoja era la variable independiente.

En el estudio realizado por Schwarz y Kläring (2001) en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), determinaron que las mejores estimaciones del área foliar se conseguían empleando como variable independiente únicamente el ancho de la hoja, en contra de lo indicado por Dumas, (1990) y Balakrishnan *et al.*, (1992) en otras estimaciones realizadas igualmente para tomate.

En cebolla se utilizó un método en el que se relacionaba, mediante una función logarítmica lineal, el área de la hoja y su longitud (Hoffman, 1971). Esta misma relación



logarítmica la han empleado otros autores, como Epstein y Robinson (1965) en papa (*Solanum tuberosum* L.), Wendt (1967) en algodón (*Gossypium hirsutum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* Moench) y ricino (*Ricinus comunis* L.), Payne *et al.* (1991) en mijo perla (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) y Kandiannan *et al.* (2002) con pimienta negra (*Piper nigrum* L.), obteniendo correlaciones muy elevadas. Wiersma y Bailey (1975) y Jensen *et al.* (1977) emplearon la misma función logarítmica en soja (*Glycine max* (L.) Merr.), pero las mejores correlaciones las obtuvieron empleando como variable independiente el producto de la longitud por el ancho de la hoja.

Casierra-Posada *et al.* (2008), comprobaron en, *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana*, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* y *Ficus carica* L., que las ecuaciones que utilizaban, como variable, el producto de la longitud de la hoja por el ancho máximo de la misma presentaban una alta correlación con el área foliar observada.

Por su parte, Legorburo Serra (2005) determinó para cinco cultivares de vid (*Vitis vinifera* L.), que las variables más apropiadas para estimar el área foliar; por la rapidez, sencillez de su medición y la no destrucción de las hojas son: el largo, el ancho y el producto del largo por el ancho, dependiendo del cultivar. Para el mismo cultivo, Manivel y Weaver (1974) describieron la existencia de un alto coeficiente de determinación del área foliar con la longitud y el ancho máximo de las hojas. Schneider y Staudt (1981) obtuvieron buenas estimaciones para el área foliar empleando el producto de la longitud por el ancho, similares resultados consiguieron Sepúlveda y Kliwer (1983), Smith y Kliwer (1984), Montero *et al.* (2000), para diversos cultivares de vid.

Otros autores reportan también la gran exactitud de estos métodos de estimación en varias plantas cultivadas, como *Carthamus tinctorius* (Sepaskhah, 1977), *Fragaria* sp. (Strik & Proctor, 1985), *Capsicum annuum* (Ray y Singh, 1989), *Linum usitatissimum* L. (Fernandez *et al.*, 1989) *Cucumis melo* (Chirinos *et al.*, 1997), *Lactuca sativa* (Guo & Sun, 2001), *Phaseolus vulgaris* (Warnock *et al.* 2006), *Swietenia macrophylla* (García-Corona *et al.*, 2010), *Manihot esculenta* (Burgos *et al.*, 2010) y *Pouteria sapota* (Calderón *et al.*, 2011).

En estudios de tesinas de grado realizadas se han analizados la relación de las variables área y ancho, largo y peso seco de los folíolos de las hojas, quienes determinaron que la variable que mejor representa el área foliar del cultivo de soja, es el ancho seguido por el peso seco. (Gatica, 2014; Marchetti, 2014). Las ecuaciones que relacionan linealmente el área foliar y el ancho, el largo o el producto de la longitud por el ancho de la hoja, han sido objeto de multitud de trabajos, pero a pesar de la cantidad de investigaciones realizadas, son pocos los estudios llevados a cabo en el cultivo de soja.



HIPÓTESIS

El área foliar en el cultivo de soja se puede determinar en forma indirecta a través las medidas morfométricas de los folíolos.

OBJETIVO GENERAL

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

OBJETIVOS ESPÉCIFICOS

- Determinar el área foliar y el largo y ancho de los folíolos, con el software WinFolia Reg 2004a.
- Obtener la relación entre el área foliar y las variables estudiadas.
- Realizar la validación utilizando el/ los parámetro/s que mejor ajustan para la estimación del área foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental de la UNRC durante la campaña agrícola 2014/15, utilizando el cultivar Nidera A 5009 grupo de madurez (GM) V corto.

Para cumplir con el primer objetivo, se extrajeron 100 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 recolectadas fueron escaneados y analizados con el software WinFolia Reg. 2004a, a los fines de determinar el área y las medidas de largo y ancho.

Los datos de área y medidas morfométricas, fueron sometidos a análisis de correlación de Pearson, y a análisis de regresión lineal simple y polinómica de 2° grado, donde el área foliar medida con el medidor WinFolia fue la variable dependiente y las medidas morfométricas las variables regresoras, a fin de determinar la relación entre ellas.

Para la validación de los modelos obtenidos en el punto anterior, se procedió a tomar en el mismo estado fenológico un total de 100 hojas de los tres estratos. Posteriormente al igual que



lo realizado para cumplir el primer objetivo se separaron los folíolos, escanearon y analizaron con el software WinFolia Reg.2004a para obtener el ancho y largo de cada folíolo y el área foliar total. Luego se realizó una regresión lineal entre los datos de área real de la muestra y la estimada por el modelo para ver el grado de ajuste entre ellas y de esta manera determinar si el modelo es eficiente para la estimación indirecta del área foliar.

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

Para hacer más completo y significativo el análisis de los datos en cada uno de los casos se separaron los folíolos y se escanearon en forma individual. De esta manera se recabo datos de los folíolos principales y del total de los folíolos que componen las 100 hojas analizadas. Por folíolos principales se considera a los folíolos centrales de la hoja, los cuales suelen tener mayores dimensiones que los otros dos folíolos que componen la misma. De esta manera podemos determinar si utilizando los datos de los folíolos principales únicamente es suficiente para poder estimar eficientemente el área foliar de la planta.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.- Determinación de la relación entre el área foliar real y medidas morfométricas largo, ancho y ancho x largo, de los folíolos

El coeficiente de correlación de Pearson para las variables en estudio arroja valores comprendidos entre 0,87 y 0,99 (tabla 1 y 2). Se observa que las mayores asociaciones lineales se corresponden con la variable ancho x largo tanto en folíolos principales como el resto de los folíolos. Lo que nos lleva a considerar a esta variable como la más apropiada para determinar el área foliar del cultivo y además nos permite decir que utilizando las medidas de los folíolos principales de la planta ya alcanzaría para poder determinar el área foliar total.

| Variablen analizadas | Coefficientes de correlación de Pearson | N |
|----------------------|---|-----|
| Ancho | 0,95 | 100 |
| Largo | 0,88 | 100 |
| Ancho x Largo | 0,99 | 100 |

Tabla 1: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en estudio y el área foliar de los folíolos principales.

| Variablen analizadas | Coefficientes de correlación de Pearson | N |
|----------------------|---|-----|
| Ancho | 0,93 | 300 |
| Largo | 0,87 | 300 |
| Ancho x Largo | 0,99 | 300 |

Tabla 2: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en estudio y el área foliar del total de los folíolos.

De los análisis de regresión lineal efectuados (ANEXOS 1 y 2) con el objetivo de determinar cuál es el parámetro que mejor se ajusta 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 que permite concluir que existen evidencias estadísticamente significativas para afirmar que las variables ancho, largo y ancho x largo explican linealmente al 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 x largo presenta el mayor valor de R^2 y menor valor de EMCP y AIC tanto en el análisis realizado sobre los folíolos principales como para todos los folíolos de la muestra, lo que revela que es la variable que estima de manera más eficiente el área foliar en forma indirecta (Tablas 3, 4, 5 y 6)

| VARIABLES ANALIZADAS | R^2 | EMCP | AIC | p-valor | Ordenada al origen (a) | Estadístico (b) |
|----------------------|-------|-------|--------|---------|------------------------|-----------------|
| Ancho | 0,86 | 11,41 | 527,22 | <0,0001 | -13,1 | 8,21 |
| Largo | 0,74 | 20,56 | 586,25 | <0,0001 | -17,27 | 5,47 |
| Ancho x Largo | 0,98 | 1,45 | 321,19 | <0,0001 | 0,66 | 0,65 |

Tabla 3: Valores de R^2 , EMCP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal simple ajustada para cada variable evaluada, utilizando los folíolos principales.

| VARIABLES ANALIZADAS | R^2 | EMCP | AIC | p-valor | Ordenada al origen (a) | Estadístico (b) |
|----------------------|-------|------|---------|---------|------------------------|-----------------|
| Ancho | 0,9 | 8,98 | 1510,18 | <0,0001 | -12,54 | 8,11 |
| Largo | 0,77 | 21,4 | 1770,57 | <0,0001 | -17,73 | 5,57 |
| Ancho x Largo | 0,98 | 1,93 | 1048,32 | <0,0001 | 0,93 | 0,64 |

Tabla 4: Valores de R^2 , EMCP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal simple ajustada para cada variable evaluada, utilizando el total de los folíolos.

| VARIABLES ANALIZADAS | R^2 | EMCP | AIC | p-valor | Ordenada al origen (a) | Estadístico (b) | Estadístico (c) |
|----------------------|-------|-------|--------|---------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Ancho | 0,86 | 11,87 | 529,17 | <0,0001 | -11,76 | 7,65 | 0,06 |
| Largo | 0,75 | 20,97 | 587,49 | <0,0001 | -27,19 | 7,96 | -0,15 |
| Ancho x Largo | 0,98 | 1,45 | 321,41 | <0,0001 | -0,56 | 0,71 | -7,3 |

Tabla 5: Valores de R^2 , EMCP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal polinómica de 2° grado ajustada para cada variable evaluada, utilizando los folíolos principales.



| VARIABLES ANALIZADAS | R ² | ECMP | AIC | p-valor | Ordenada al origen (a) | Estadístico (b) | Estadístico (c) |
|----------------------|----------------|-------|--------|---------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Ancho | 0,91 | 8,93 | 1508,5 | <0,0001 | -8,28 | 6,21 | 0,2 |
| Largo | 0,77 | 21,53 | 1771,9 | <0,0001 | -22,16 | 6,75 | -0,08 |
| Ancho x Largo | 0,98 | 1,9 | 1043,3 | <0,0001 | -0,27 | 0,71 | -8,5 |

Tabla 6: Valores de R², EMCP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal polinómica de 2° grado ajustada para cada variable evaluada, utilizando el total de los folíolos.

Al analizar los diagramas de dispersión obtenidos (figura 1, 2, 3 y 4), se observa que las tres variables están estrechamente relacionadas de manera positiva con el área foliar, tanto del análisis de folíolos principales y totales, mostrando el producto del ancho por el largo una menor dispersión de los puntos comparado con las variables por separado.

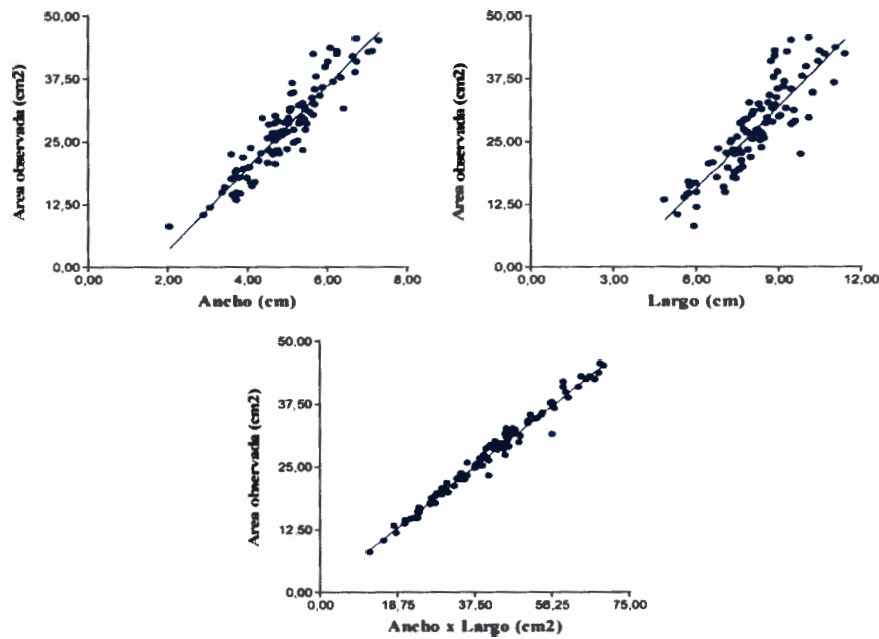


Figura 1: Diagramas de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el ancho, largo y ancho x largo de los folíolos principales de la muestra.

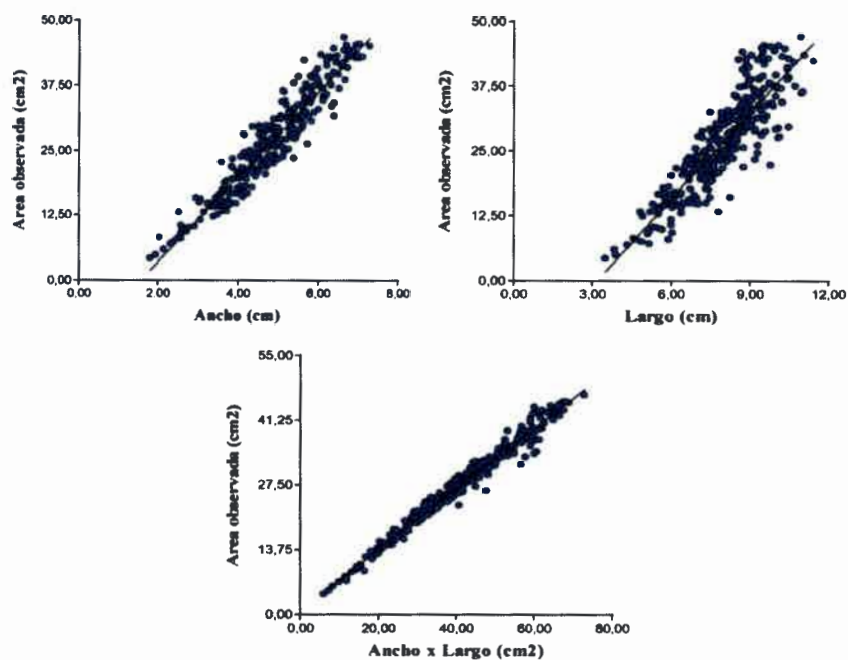


Figura 2: Diagramas de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el ancho, largo y ancho x largo de todos los folíolos de la muestra.

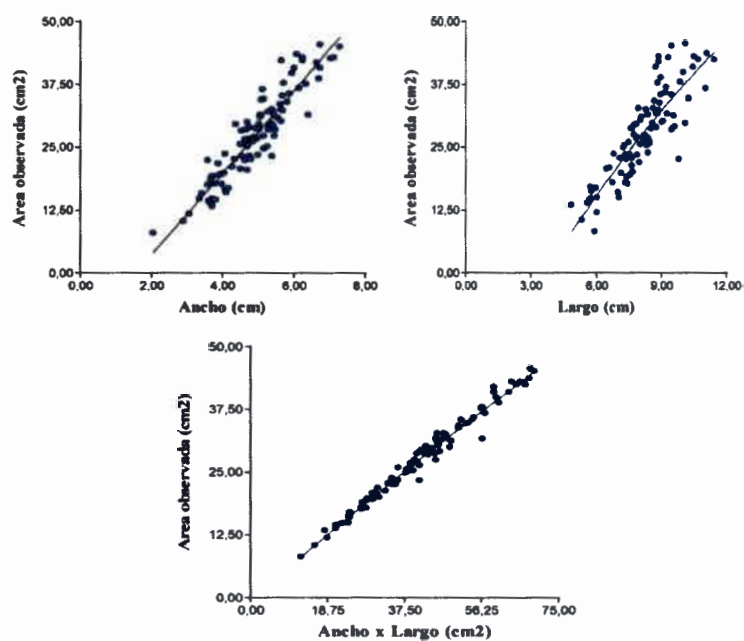


Figura 3: Diagramas de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el ancho, largo y ancho x largo de los folíolos principales de la muestra.



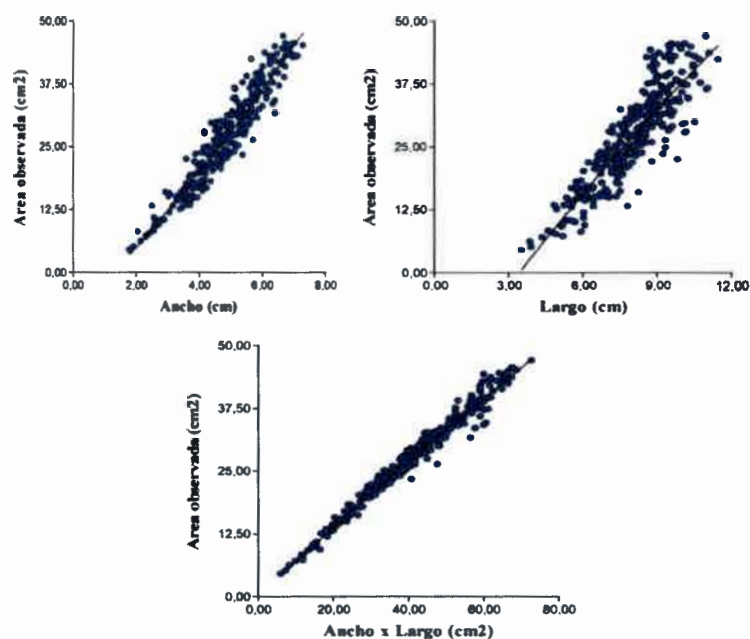


Figura 4: Diagramas de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el ancho, largo y ancho x largo de todos los folíolos de la muestra.

Si observamos la distribución de los residuos estudentizados obtenidos de las regresiones llevadas a cabo anteriormente (figuras 1, 2, 3 y 4), se aprecia una distribución uniforme siendo menos dispersa cuando se utilizó el producto del ancho x largo, seguido del ancho, tanto en folíolos principales como en todos los folíolos de la muestra. (Figuras 5, 6, 7, 8)



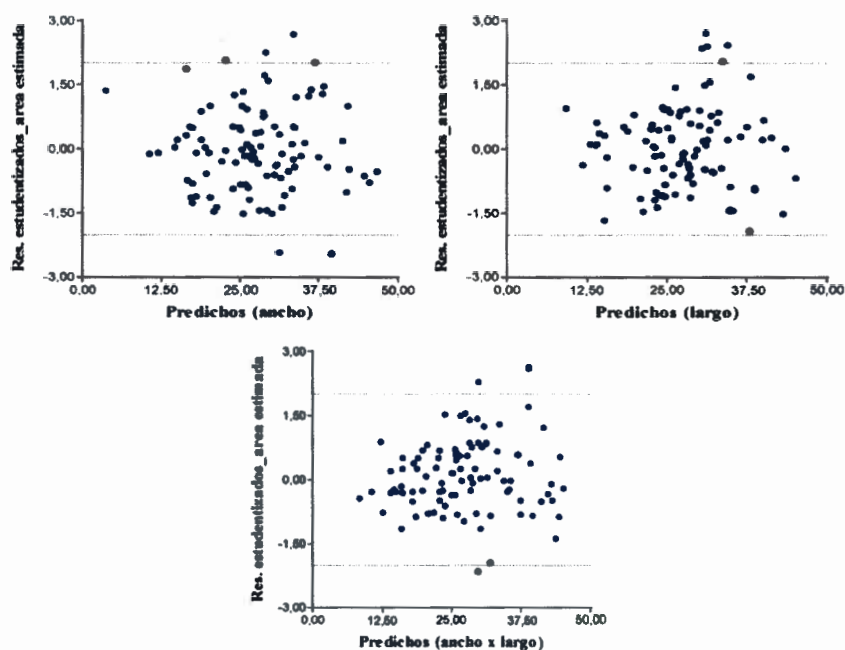


Figura 5: Residuos estudentizados del análisis de regresión lineal simple para las variables analizadas en folíolos principales.

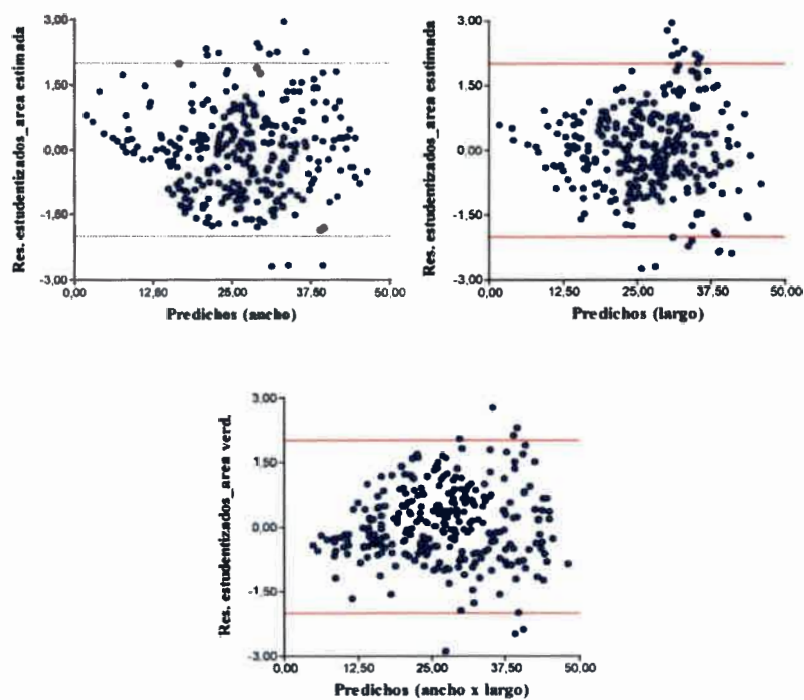


Figura 6: Residuos estudentizados del análisis de regresión lineal simple para las variables analizadas en todos los folíolos de la muestra.



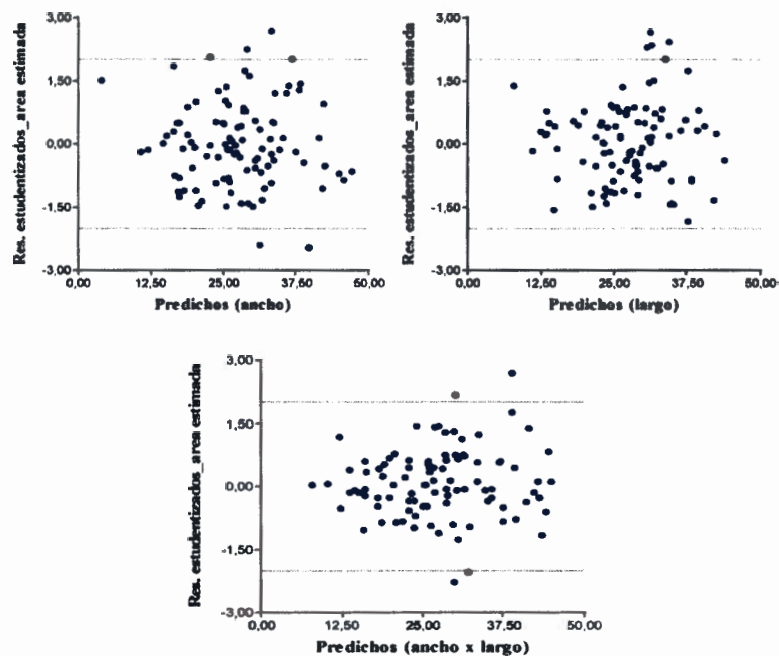


Figura 7: Residuos estudentizados del análisis de regresión lineal polinómica de 2° grado para las variables analizadas en folíolos principales.

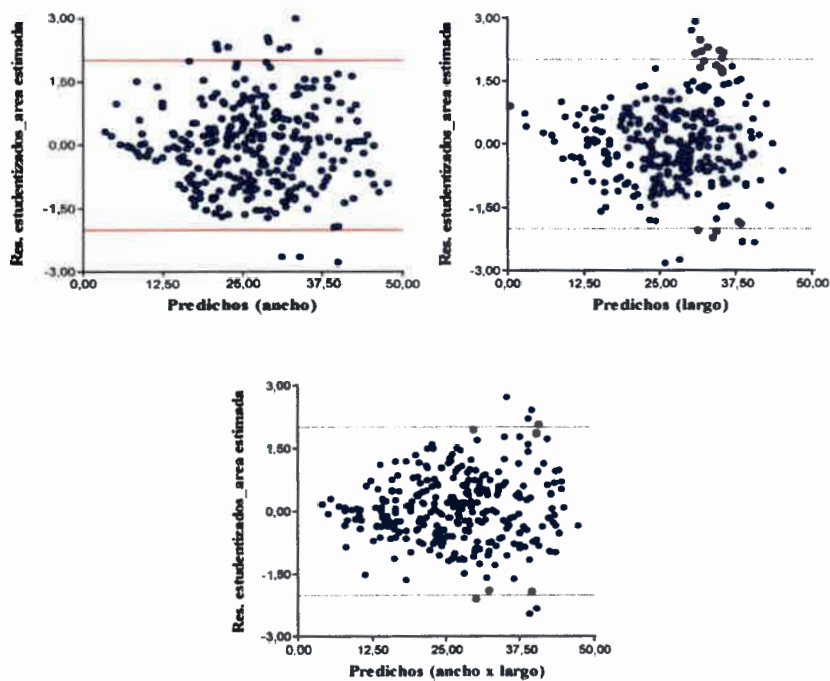
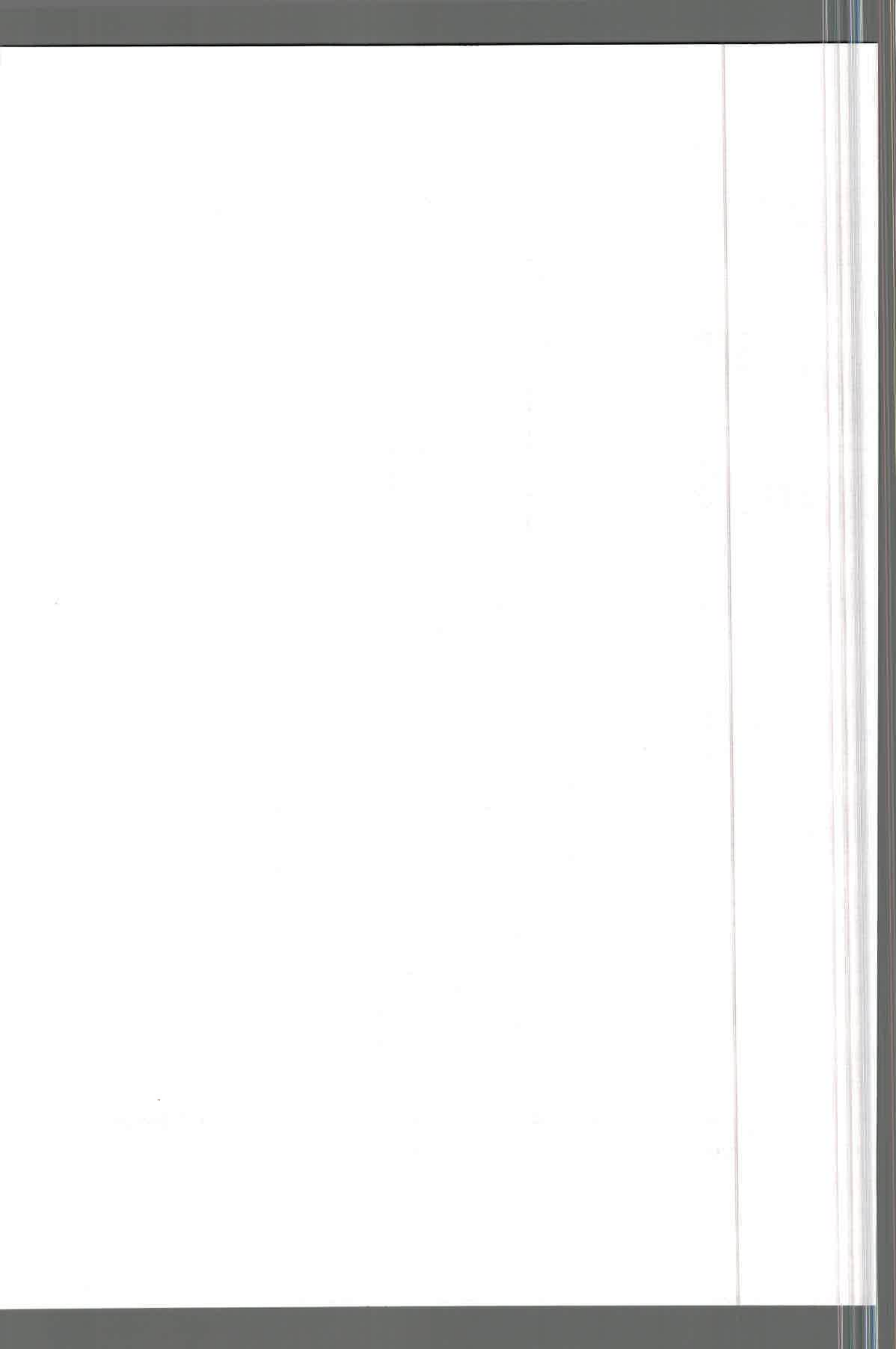


Figura 8: Residuos estudentizados del análisis de regresión lineal polinómica de 2° grado para las variables analizadas en todos los folíolos de la muestra.



Utilizando los valores de cada estadístico tanto de folíolos principales como de todos los folíolos de la muestra (tablas 3, 4, 5 y 6), se pueden definir las ecuaciones de los modelos ajustados para cada tipo de folíolos (tablas 7, 8, 9 y 10).

| VARIABLES ANALIZADAS | Ecuación de regresión |
|----------------------|-----------------------|
| Ancho (A) | Área= -13,10 + 8,21*A |
| Largo (L) | Área= -17,27 + 5,47*L |
| Ancho x Largo (AL) | Área= 0,66 + 0,65*AL |

Tabla 7: Ecuaciones de regresión lineal simple para estimación del área foliar en base al ancho, largo y ancho x largo de los folíolos principales.

| VARIABLES ANALIZADAS | Ecuación de regresión |
|----------------------|-----------------------|
| Ancho (A) | Área= -12,54 + 8,11*A |
| Largo (L) | Área= -17,73 + 5,57*L |
| Ancho x Largo (AL) | Área= 0,93 + 0,64*AL |

Tabla 8: Ecuaciones de regresión lineal simple para estimación del área foliar en base al ancho, largo y ancho x largo del total de los folíolos.

| VARIABLES ANALIZADAS | Ecuación de regresión |
|----------------------|--|
| Ancho (A) | Área= -11,76 + 7,65*A + 0,06* A ² |
| Largo (L) | Área= -27,19 + 7,96 *L -0,15*L ² |
| Ancho x Largo (AL) | Área= -0,56 + 0,71 *AL -7,3*AL ² |

Tabla 9: Ecuaciones de regresión lineal polinómica de 2º grado para estimación del área foliar en base al ancho, largo y ancho x largo de los folíolos principales.

| VARIABLES ANALIZADAS | Ecuación de regresión |
|----------------------|---|
| Ancho (A) | Área= -8,28 + 6,21*A + 0,20*A ² |
| Largo (L) | Área= -22,16 + 6,75 *L -0,08*L ² |
| Ancho x Largo (AL) | Área= -0,27 + 0,71*AL - 8,5*AL ² |

Tabla 10: Ecuaciones de regresión lineal polinómica de 2º grado para estimación del área foliar en base al ancho, largo y ancho x largo del total de los folíolos.



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.

2.- Validación de las ecuaciones obtenidas.

Dado que las evaluaciones anteriormente realizadas demostraron que la variable obtenida del producto de ancho x largo es la que estima con mayor precisión el área foliar, se realizó la validación solo con dicha variable.

Con los datos del producto de ancho x largo de los folíolos de las hojas extraídas se estimó el área foliar tanto de folíolos principales como totales, utilizando las ecuaciones originadas en la primera etapa del trabajo. Los datos de área foliar observada y estimada por el producto de ancho x largo se observan en el anexo 3.

Al realizar el análisis de regresión lineal simple entre el área foliar observada como variable dependiente y área foliar estimada, de las 100 hojas extraídas para la validación, como regresora, se obtuvieron altos coeficientes de determinación (R^2) en los dos modelos (tabla 11 y 12). Si se tienen en cuenta los demás criterios de selección, EMCP y AIC, y además se diferencia entre los valores de folíolos principales y totales se observan mejores ajustes para la ecuación de regresión lineal de folíolos principales; concluyéndose por lo tanto que utilizando la regresión lineal simple de los mismos se puede estimar eficientemente el área foliar. (Tabla 11 y 12).

| Modelos analizados | R^2 | EMCP | AIC | p-valor del modelo |
|-----------------------------|-------|------|--------|--------------------|
| Regresión lineal simple | 0,98 | 1,7 | 346,74 | <0,0001 |
| Regresión lineal cuadrática | 0,95 | 5,02 | 457,16 | <0,0001 |

Tabla 11: Valores de coeficientes de determinación R^2 , EMCP, AIC y valor p, obtenidos de la regresión lineal entre área foliar observada y área foliar estimada por ancho x largo de los folíolos principales.



| Modelos analizados | R ² | EMCP | AIC | p-valor del modelo |
|-----------------------------|----------------|------|---------|--------------------|
| Regresión lineal simple | 0,98 | 1,99 | 1093,18 | <0,0001 |
| Regresión lineal cuadrática | 0,93 | 7,64 | 1507,43 | <0,0001 |

Tabla 12: Valores de coeficientes de determinación R², EMCP, AIC y valor p, obtenidos de la regresión lineal entre área foliar observada y área foliar estimada por ancho x largo del total de los folíolos.

En el siguiente dispersograma (figura 9) se aprecia el grado de ajuste entre los valores observados y estimados por el modelo de regresión lineal simple de los folíolos principales.

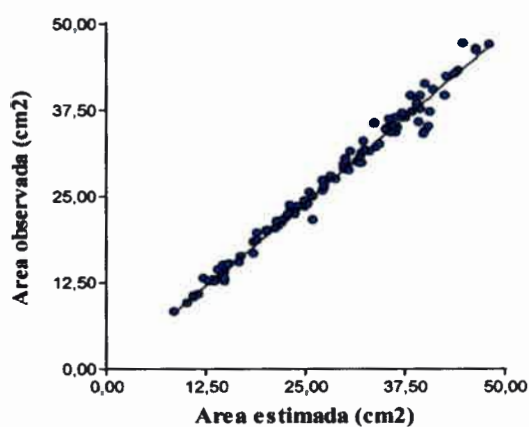


Figura 9: Diagrama de dispersión de la regresión lineal entre el área foliar observada y el área foliar estimada, apartir de la ecuación lineal simple de la variable ancho x largo de folíolos principales.



Al comparar los modelos desarrollados para estimar el área foliar con la bibliografía consultada, se observa que los resultados coinciden con los reportes de McKee (1964) que obtuvo un coeficiente que permite conocer el área foliar en maíz (*Zea mays* L.), empleando como variable independiente el producto de la longitud por el ancho. La misma relación ya había sido probada en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) (Ashley *et al.*, 1963), con buenos resultados.

Lo mismo ocurre con estudios realizados por Lu *et al.* (2004) que se emplearon medidas lineales de longitud y ancho de diversas partes de la hoja de taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), encontrando que las mejores predicciones se conseguían al emplear el producto de alguna de las medidas de longitud con alguna de las medidas de anchura (Legorburo Serra, 2005).

De igual manera Payne *et al.* (1991), con mijo perla (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), obtuvo correlaciones muy altas entre el área foliar y el producto de la longitud por el ancho de la hoja. Por otra parte Astegiano *et al.* (2001) determinó que la función que mejor estimaba el área foliar en varios cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), es una función lineal, donde el producto de la longitud por la anchura máxima de la hoja era la variable independiente que mejor estimaba el área foliar (Legorburo Serra, 2005).

También Casierra-Posada *et al.* (2008), comprobaron en, *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana*, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* y *Ficus carica* L., que las ecuaciones que utilizaban, como variable, el producto de la longitud de la hoja por el ancho máximo de la misma presentaban una alta correlación con el área foliar observada.

Por su parte Schneider y Staudt (1981) obtuvieron buenas estimaciones para el área foliar empleando el producto de la longitud por la anchura, similares resultados consiguieron Sepúlveda y Kliwer (1983), Smith y Kliwer (1984), Montero *et al.* (2000), para diversos cultivares de vid.

Otros autores reportan también la gran exactitud de estos métodos de estimación en varias plantas cultivadas, como *Carthamus tinctorius* (Sepaskhah, 1977), *Fragaria* sp. (Strik & Proctor, 1985), *Capsicum annuum* (Ray y Singh, 1989), *Linum usitatissimum* L. (Fernandez *et al.*, 1989) *Cucumis melo* (Chirinos *et al.*, 1997), *Lactuca sativa* (Guo & Sun, 2001), *Phaseolus vulgaris* (Warnock *et al.* 2006), *Swietenia macrophylla* (García-Corona *et al.*, 2010), *Manihot esculenta* (Burgos *et al.*, 2010) y *Pouteria sapota* (Calderón *et al.*, 2011).

Contrariamente en el estudio realizado por Schwarz y Kläring (2001) en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), que determinaron que las mejores estimaciones del área foliar se conseguían empleando como variable independiente únicamente el ancho de la hoja, en contra



de lo indicado en otras estimaciones realizadas igualmente para tomate (Dumas, 1990; Balakrishnan *et al.*, 1992). (Legorburo Serra, 2005).

Lo mismo ocurrió en cebolla que se utilizó un método en el que se relacionaba, mediante una función logarítmica lineal, el área de la hoja y su longitud (Hoffman, 1971). Esta misma relación logarítmica la han empleado otros autores, como Epstein y Robinson (1965) en patata (*Solanum tuberosum* L.), Wendt (1967) en algodón (*Gossypium hirsutum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* Moench) y ricino (*Ricinus comunis* L.), Payne *et al.* (1991) en mijo perla (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) y Kandiannan *et al.* (2002) con pimienta negra (*Piper nigrum* L.), obteniendo correlaciones muy elevadas. Opuestamente Wiersma y Bailey (1975) y Jensen *et al.* (1977) emplearon la misma función logarítmica en soja (*Glycine max* (L.) Merr.), pero las mejores correlaciones las obtuvieron empleando como variable independiente el producto de la longitud por el ancho de la hoja (Legorburo Serra, 2005).

En tesinas de grado realizadas en soja, donde se ha estudiado al área foliar como variable dependiente y el ancho y el peso seco como variables independientes y obtuvieron que el ancho representaba mejor el área foliar. (Gatica, 2014; Marchetti, 2014)

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten afirmar lo expresado por varios investigadores, que utilizan medidas morfométricas para estimar el área foliar, especialmente el producto entre el ancho y el largo de la hoja. En lo que respecta a las ventajas de este método es que no requiere equipos costosos, y es no destructivo, pero como desventajas podemos mencionar que las mediciones es el doble comparadas con los modelos que utilizan el ancho o la longitud del folíolo solo.



CONCLUSIONES

- El producto entre ancho y longitud del folíolo es una medida precisa para la determinación indirecta del área foliar en el cultivo de soja.
- Se puede decir que utilizando solo las medidas de los folíolos principales es suficiente para poder determinar el área foliar en el cultivo de soja.
- El modelo lineal simple seleccionado y validado: $\text{Área} = 0,66 + 0,65 * \text{Ancho} \times \text{largo del folíolo principal}$, 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 método.



BIBLIOGRAFÍA

- ANDRIEU, B.; J.M. ALLIRAND y K. JAGGARD. 1997. Ground cover and leaf area index of maize and sugar beet crops. *Agronomic* 17 (6-7), 315-321.
- ASHLEY, D.A.; B.D. DOSS y O.L. BENNETT. 1963. A method of determining leaf area in cotton. *Agron. J.*, 55, 584-585.
- ASTEGIANO, E.D. y J.C. FAVARO. 1987. Desarrollo del área foliar en tres cultivares de tomate. **XVIII Reunión Nacional de Fisiología Vegetal**. Corrientes. Argentina, 4 pp.
- ASTEGIANO, E.D.; J.C. FAVARO y C.A. BOUZO. 2001. *Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) utilizando medias foliares lineales*. Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales 16 (2): 249-256.
- BOARD, J. E., A. T. WIER y D. J. BOETHEL. 1994. Soybean yield reductions caused by defoliation during mid to late seed filling. *Agronomy Journal*. 86: 1074-1079.
- BOLSA DE CEREALES DE CORDOBA. 2016. Departamento de información agroeconómica. En: www.bccbba.com.ar/segunda-estimacion-produccion-soja-maiz-campana-201516-7536.html. Consultado: 21-03-2016
- BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. 2016. Mercado de granos. En: www.bcr.com.ar/Pages/gea/estimaProd.aspx. Consultado: 21-03-2016
- BALAKRISHNAN, K.; K.M. SUNDARAM; A. AJUNAN y N.A. MATARAJATNAM. 1992. A simple method for estimating leaf area in tomato. *Madras Agric. J.*, 79 (3), 162-163.
- BROWDE, J. A., L. P. PEDIGO, M. D. K. OWEN y G. L. TYLKA 1994. Soybean yield and pest management as influenced by nematodes, herbicides, and defoliating insects. *Agronomy Journal*. 86: 601-608.
- BROWN, H. y F. ESCOMBE. 1905. Researches on some of the physiological processes of green leaves. *Proc. Roy. Soc., B* 76, 29-111.
- 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 (1): 55-61.
- CALDERON, A.A.; M. CALDERON; L.R. FUNDORA y E. JEREZ. 2011. Estimación de área foliar en posturas de mamey (*Pouteria sapota* J.) en fase de vivero, a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos Tropicales* 32(2): 91-99.
- CARBONNEAU, A. 1976. Principes et méthodes de mesure de la surface foliare. Essai de caractérisation destypes de feuilles dans le genre *Vitis*. *Ann. Amélior. Plantes*, 26 (2), 327-343.



- 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 (1): 95-102.
- CHIRINOS, T.; L. CHIRINOS; F. GERAUD; O. CASTEJÓN; R. FERNÁNDEZ; J. VERGARA; L. MÁRMOL y D. CHIRINOS. 1997. Modelos para estimar el área foliar del melón híbrido 'Durango'. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 14(2): 163-171.
- CLEMENTS, F.E. y W. GOLDSMITH. 1924. *The phytometer method in ecology*. Carnegie Inst. of Washington Publ., 356.
- COOMBS, J. y D.O. HALL. 1982. *Whole Plant Photosynthesis and Productivity*. In: Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. Pergamon Press, Oxford. pp.171
- DARROW, G.M. 1932. Methods of measuring strawberry leaf areas. *Plant Physiol.*, 7: 745-747.
- DAUGHTRY, C. 1990. Direct measurements of canopy structure. *Remote Sensing Reviews*, 5: 45-60.
- 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.
- DENGLER, N.G. 1984. Comparison of leaf development in normal, entire and lanceolated plants of tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. *Botanical Gazette* 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 www.infostat.com.ar.
- DUMAS, Y. 1990. Interrelation on linear measurements and total leaf area or dry matter production in young tomato plants. *Adv. Hortic. Sci.*, 4: 172-176.
- EBERT, T. y R. DERKSEN. 2004. A geometric model of mortality and crop protection for insects feeding on discrete toxicant deposits. *J. Econ. Entomology* 97 (2): 155-162.
- EPSTEIN, E. y R.R. ROBINSON. 1965. A rapid method for determining leaf area of potato plants. *Agron. J.*, 57: 515-516.
- FERNANDEZ, E. M.; W. E. ASNAL; O. GIAYETTO y L. CHOLAKY. 1989. Estimación del área foliar del lino oleaginoso (*Linum usitatissimum* L.). Rev. Fac. Agronomía- UNLPam. Vol. 4 N° 1: 47-58.
- FREAR, D.E.H. 1935. Photoelectric apparatus for measuring leaf areas. *Plant Physiol.*, 10, 569-574.
- FREEMAN, G.H. y B.D. BOLAS. 1956. A method for the rapid determination of leaf areas in the field. *Ann. Rep. Est. Malling Res. Station*, 104-107.



- GARCÉS-FIALLOS, F. y C. A. FORCELINI. 2011. *Peso de hojas como herramienta para estimar el área foliar en soya*. Parte de la tesis de Maestría en Agronomía con Área en Fitopatología. ¹Unidad de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Laboratorio de Fitopatología, Universidad de Passo Fundo, Brasil. Publicado como artículo en *Ciencia y Tecnología* 4(1): 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.
- GATICA, P. 2014. *Determinación indirecta del área foliar en el cultivo de soja (Glycine max L. (Merrill))*. Tesis de grado. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. p: 18.
- GOENAGA, R. y U. SINGH. 1996. Estimation of leaf area of taro (*Colocasia esculenta*) from linear measurements. *J. Agric. University Puerto Rico* 80 (3), 183-185.
- GOODALL, D.W., 1947. Diurnal changes in the area of cacao leaves. *Ann. Bot. N.S.*, 11, 449-451.
- GUO, D.P. y Y.Z. SUN. 2001. Estimation of area of stem lettuce (*Lactuca sativa* var. Angustana) from linear measurements. *Indian J. Agr. Sci.* 71: 483-486.
- HERBERT, D.A., T. P. MACK, P. A. BACKMAN y R. RODRIGUEZ-KABANA. 1992. Validation of a model for estimating leaf-feeding by insects in soybean. *Crop Protection*. 11: 27-34.
- HOFFMAN, G.J. 1971. Estimating leaf area from length measurements for hybrid granex onion. *Agron. J.* 63: 948-949.
- HUMPHRIES, E.G. y S.A.W. FRENCH. 1963. The accuracy of the rating method for determining leaf area. *Ann. appl. Biol.* 52: 193-198.
- HUMPHRIES, E.G. y S.A.W. FRENCH. 1964. Determination of leaf area by rating in comparison with geometric shapes. *Ann. appl. Biol.* 54: 281-284.
- JATIMLIANSKY, J.R. y D.O. GIMENEZ. 1993. Un método para estimar el área foliar en Cebadilla Criolla. **XX Reunión Argentina de Fisiología Vegetal**. S.C. de Bariloche. Pp. 142-145.
- JENSEN, R.L.; L.D. NEWSON; D.C. HERZOG; J.W. THOMAS; B.R. FARTHING y F.A. MARTIN. 1977. A method of estimating insect defoliation of soybean. *J.Econ.Entomol.*70: 240-242.
- 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.
- KERSHAW, J.H. y D.R. LARSEN. 1992. A rapid technique for recording and measuring the leaf area of conifer needle samples. *Tree Physiology*, 11: 411-417.



- KUCHARIK, C.J.; J.M. NORMAN y S.T. GROWER. 1998. Measurement of branch area and adjusting leaf area index indirect measurement. *Agric. Forest Meteorol.* 91(1-2), 69-88.
- KVET, J. y J.K. MARSHALL. 1971. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. En: *Plant photosynthetic production Manual of methods*, pp. 517-555. Junk, N.V.Pubs., La Haya.
- LEGORBURO SERRA, A. 2005. *Estimación del área foliar en Vitis vinifera L.* Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete, Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria, Universidad de Castilla-La Mancha, Castilla-La Mancha, España. 424 p.
- LU, H.Y.; C.T. LU; M.L. WEI y L.F. CHAN. 2004. Comparison of different models for nondestructive leaf area estimation in taro. *Agronomy J.* 96: 448-453.
- MANIVEL, L. y R.J. WEAVER. 1974. Biometric correlations between leaf area and length measurements of Grenache grape leaves. *HortScience*, 9 (1): 27-28.
- MARCHETTI TUMINI, A. 2014. *Determinación indirecta del área foliar en el cultivo de soja (Glycine max L. (Merrill))*. Tesina de grado. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. p: 15.
- MILLER, E.C. 1938. *Plant Physiology*. McGraw-Hill Co., Nueva York
- McKEE, G.W. 1964. A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. *Agron. J.*, 56, 240-241.
- MONTEITH, J. 1965. Light distribution and photosynthesis in field crops. *Annals of Botany* 29(113):17-37.
- MONTERO, F.J.; J.A. DE JUAN; A. CUESTA y A. BRASA. 2000. Non destructive methods to estimate leaf area in *Vitis vinifera L.* *Hortscience*, 35 (4): 696-698.
- NYAKWENDE, E.; C.J. PAULL y J.G. ATHERTON. 1997. Non-destructive determination of leaf area in tomato plants using image processing. *Journal of Horticultural Science*, 72 (2): 255-262.
- PAQUIN, R. y L.J. COULOMBE. 1959. A simple method for measuring the area of leaves of potted plants. *Can. J. Bot.*, 37: 167.
- PAYNE, W.A.; C.W. WENDT; L.R. HOSSNER y C.E. GATES. 1991. Estimating Pearl Millet Area and Specific Leaf Area. *J.* 83: 937-941
- PEROTTI, E. y J.C. GAMUNDI. 2006. Incidencia de la defoliación en cultivares determinados e indeterminados (GM III, IV y V) con diferentes espaciamientos entre líneas. *Para Mejorar la Producción*. 33: 86-91.
- PEROTTI, E. y J. C. GAMUNDI. 2009. La importancia de saber proteger oportunamente las hojas del cultivo de soja. *Para Mejorar la Producción* 42: 113-117.
- RAY, R. y P. SINGH. 1989. Leaf área estimation in Capsicum (*Capsicum annuum L.*). *Scientia Horticulturae* 39(3): 181-188.



- RUCK, H.C. y B.D. BOLAS. 1955. Studies in the comparative physiology of apple rootstocks. I. The effect of nitrogen on the growth and assimilation of Malling Apple Rootstocks. *Ann. Bot. N.S.*, 20, 57-58.
- SCHNEIDER, G. y A. STAUDT. 1981. Eine einfache Method zur Bestimmung von Blattflächen bei Reben. *Mitt. Klosterneuburg*, 31, 186-189.
- SCHWARZ, D. y H.P. KLÄRING. 2001. Allometry to estimate leaf area of tomato. *J. Plant Nut.*, 24 (8), 1291-1309.
- SEPASKHAH, A.R. 1977. Estimation of individual and total leaf areas of safflowers. *Agronomy J.* 69: 783-785.
- SEPÚLVEDA, G. y M. KLIEWER. 1983. Estimation of leaf area of two grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) using laminae linear measurements and fresh weight. *Am. J. Enol. Vitic.* 4 (4), 221-226.
- SMITH, R. y W.M. KLIEWER. 1984. Estimation of Thompson Seedless grapevine leaf area. *Am. J. Enol. Vitic.* 35, 16-22.
- SQUIRE, G. 1990. *The physiology of tropical crop production*. C.A.B. International, Wallingford, 236p.
- STRIK, B.C. y J.T.A. PROCTOR. 1985. Estimating the area of trifoliolate and unequally imparipinnate leaves of strawberry. *HortScience*. 20: 1072-1074.
- THORNE, G.N. y D.J. WATSON. 1955. The effect on yield and leaf area of wheat of applying nitrogen as a topdressing in April or in sprays at ear emergence. *J. Agric. Sci.*, 46, 449-456.
- TROIANI, M. y E. MIRASSON. 1996. Comparación de dos métodos para estimar el área foliar en Amaranto. **XXI Reunión Argentina de Fisiología Vegetal**, Actas. Mendoza, Argentina. Pp. 138-139.
- WARNOCK, R.; J. VALENZUELA; A. TRUJILLO; P. MADRIZ y M. GUTIÉRREZ. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Trop.* 56 (1): 21-42.
- WATANABE, J.; R.M. POOL y K.N. WATANABE. 1997. The evaluation of an optical method to estimate the leaf área of grapevines. *J. Jap. Soc. Hort. Sc.* 66 (2), 235-244.
- WELLES, J.M. y J.M. NORMAN. 1991. Instrumental for indirect measurement of canopy architecture. *Agron. J.* 83, 818-825.
- WENDT, C.W. 1967. Use of relationship between leaf length and leaf area to estimate the leaf area of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), castors (*Ricinus comunis* L.), and sorghum (*Sorghum vulgare* L.). *Agron. J.*, 59,484-486.
- WIERSMA, J.V. y T.B. BAILEY. 1975. Estimation of leaflet, trifoliolate, and total leaf areas of soybean. *Agron. J.*, 67, 26-30.

- WILLIAMS, R.F. 1954. Estimation of leaf area for agronomical and plant physiological studies. *Aust. J. Agron. Res.* 5, 235-236.
- WILLIAMS, R.F.; L.T. EVANS y L.J. LUDWING. 1964. Estimation of leaf area for clover and Lucerne. *Austr. J. Agric. Res.*, 15, 231-233.
- WINTER, E.J.; P.J. SALTER; G. STANHILL y J.K. BLEASDALE. 1956. Some methods of measuring leaf area. En: Milthorpe, F.L. (ed). *The growth of leaves*, pp. 151-167. Butterworths Scientific publications, Londres.

ANEXOS

Anexo 1: Tablas de análisis de regresión lineal simple para las variables ancho, largo y ancho x largo de folíolos totales y principales respectivamente.

Ancho de total de los folíolos:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------|-----|----------------|-------------------|------|---------|---------|
| Area | 300 | 0,90 | 0,90 | 8,98 | 1510,18 | 1521,29 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|-------|--------|------|---------|---------|-------|---------|-----------|------|
| const | -12,54 | 0,77 | -14,04 | -11,03 | 16,36 | <0,0001 | | |
| Ancho | 8,11 | 0,15 | 7,81 | 8,41 | 53,10 | <0,0001 | 2810,76 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|----------|-----|----------|---------|---------|
| Modelo | 25008,02 | 1 | 25008,02 | 2819,18 | <0,0001 |
| Ancho | 25008,02 | 1 | 25008,02 | 2819,18 | <0,0001 |
| Error | 2643,46 | 298 | 8,87 | | |
| Total | 27651,48 | 299 | | | |

Largo del total de los folíolos:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|------------|-----|----------------|-------------------|-------|---------|---------|
| area verd. | 300 | 0,77 | 0,77 | 21,40 | 1770,57 | 1781,68 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|-------|--------|------|---------|---------|--------|---------|-----------|------|
| const | -17,73 | 1,43 | -20,55 | -14,90 | -12,35 | <0,0001 | | |
| largo | 5,57 | 0,18 | 5,22 | 5,91 | 31,79 | <0,0001 | 1008,23 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|----------|-----|----------|---------|---------|
| Modelo. | 21354,61 | 1 | 21354,61 | 1010,61 | <0,0001 |
| largo | 21354,61 | 1 | 21354,61 | 1010,61 | <0,0001 |
| Error | 6296,87 | 298 | 21,13 | | |
| Total | 27651,48 | 299 | | | |



Ancho x Largo del total de los folíolos:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|------------|-----|----------------|-------------------|------|---------|---------|
| area verd. | 300 | 0,98 | 0,98 | 1,93 | 1048,32 | 1059,43 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|------------|------|------|---------|---------|--------|---------|-----------|------|
| const | 0,93 | 0,23 | 0,47 | 1,39 | 3,98 | 0,0001 | | |
| anc x larg | 0,64 | 0,01 | 0,63 | 0,66 | 119,31 | <0,0001 | 14189,29 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|----------|-----|----------|----------|---------|
| Modelo. | 27084,52 | 1 | 27084,52 | 14235,90 | <0,0001 |
| anc x larg | 27084,52 | 1 | 27084,52 | 14235,90 | <0,0001 |
| Error | 566,96 | 298 | 1,90 | | |
| Total | 27651,48 | 299 | | | |

Ancho de los folíolos principales:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|------------|-----|----------------|-------------------|-------|--------|--------|
| area verd. | 100 | 0,86 | 0,86 | 11,41 | 527,22 | 535,04 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|-------|--------|------|---------|---------|-------|---------|-----------|------|
| const | -13,10 | 1,71 | -16,49 | -9,70 | -7,66 | <0,0001 | | |
| ancho | 8,21 | 0,34 | 7,54 | 8,88 | 24,38 | <0,0001 | 589,39 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo | 6516,41 | 1 | 6516,41 | 594,38 | <0,0001 |
| Ancho | 6516,41 | 1 | 6516,41 | 594,38 | <0,0001 |
| Error | 1074,40 | 98 | 10,96 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |



Largo de los folíolos principales:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|------------|-----|----------------|-------------------|-------|--------|--------|
| area verd. | 100 | 0,74 | 0,74 | 20,56 | 586,25 | 594,06 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|-------|--------|------|---------|---------|-------|---------|-----------|------|
| const | -17,27 | 2,70 | -22,64 | -11,91 | -6,39 | <0,0001 | | |
| largo | 5,47 | 0,32 | 4,82 | 6,11 | 16,90 | <0,0001 | 283,85 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo. | 5652,17 | 1 | 5652,17 | 285,72 | <0,0001 |
| largo | 5652,17 | 1 | 5652,17 | 285,72 | <0,0001 |
| Error | 1938,64 | 98 | 19,78 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |

Ancho x Largo de los folíolos principales:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|------------|-----|----------------|-------------------|------|--------|--------|
| area verd. | 100 | 0,98 | 0,98 | 1,45 | 321,19 | 329,01 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|---------------|------|------|---------|---------|-------|---------|-----------|------|
| Constante | 0,66 | 0,39 | -0,12 | 1,43 | 1,68 | 0,0957 | | |
| Ancho x largo | 0,65 | 0,01 | 0,63 | 0,66 | 73,05 | <0,0001 | 5283,05 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------------|---------|----|---------|---------|---------|
| Modelo. | 7453,92 | 1 | 7453,92 | 5335,94 | <0,0001 |
| Ancho x largo | 7453,92 | 1 | 7453,92 | 5335,94 | <0,0001 |
| Error | 136,90 | 98 | 1,40 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |



ANEXO 2: Tablas de análisis de regresión lineal polinómica de 2° grado utilizando las variables ancho, largo y ancho x largo del total de folíolos y de los principales respectivamente.

Ancho del total de folíolos.

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------|-----|----------------|-------------------|------|---------|---------|
| Área | 300 | 0,91 | 0,90 | 8,93 | 1508,46 | 1523,28 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|--------------------|-------|------|----------|---------|-------|---------|-----------|-------|
| Constante | -8,28 | 2,34 | -12,88 | -3,68 | -3,54 | 0,0005 | | |
| Ancho | 6,21 | 1,00 | 4,24 | 8,18 | 6,20 | <0,0001 | 40,27 | 43,36 |
| Ancho ² | 0,20 | 0,10 | -4,5E-03 | 0,41 | 1,93 | 0,0552 | 5,70 | 43,36 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|----------|-----|----------|---------|---------|
| Modelo | 25040,61 | 2 | 12520,30 | 1424,25 | <0,0001 |
| Ancho | 25008,02 | 1 | 25008,02 | 2844,78 | <0,0001 |
| Ancho ² | 32,58 | 1 | 32,58 | 3,71 | 0,0552 |
| Error | 2610,88 | 297 | 8,79 | | |
| Total | 27651,48 | 299 | | | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|----------|-----|----------|---------|---------|
| Modelo | 25040,61 | 2 | 12520,30 | 1424,25 | <0,0001 |
| Ancho | 25040,61 | 2 | 12520,30 | 1424,25 | <0,0001 |
| Error | 2610,88 | 297 | 8,79 | | |
| Total | 27651,48 | 299 | | | |

Largo del total de folíolos:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|---------|---------|
| Área | 300 | 0,77 | 0,77 | 21,53 | 1771,87 | 1786,69 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|--------------------|--------|------|---------|---------|-------|---------|-----------|-------|
| Constante | -22,16 | 5,52 | -33,02 | -11,30 | -4,02 | 0,000 | | |
| Largo | 6,75 | 1,44 | 3,93 | 9,58 | 4,70 | <0,0001 | 24,01 | 67,32 |
| Largo ² | -0,08 | 0,09 | -0,26 | 0,10 | -0,83 | 0,4059 | 2,69 | 67,32 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|----------|-----|----------|---------|---------|
| Modelo | 21369,27 | 2 | 10684,63 | 505,13 | <0,0001 |
| Largo | 21354,61 | 1 | 21354,61 | 1009,57 | <0,0001 |
| Largo ² | 14,65 | 1 | 14,65 | 0,69 | 0,4059 |
| Error | 6282,22 | 297 | 21,15 | | |
| Total | 27651,48 | 299 | | | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|----------|-----|----------|--------|---------|
| Modelo | 21369,27 | 2 | 10684,63 | 505,13 | <0,0001 |
| largo | 21369,27 | 2 | 10684,63 | 505,13 | <0,0001 |
| Error | 6282,22 | 297 | 21,15 | | |
| Total | 27651,48 | 299 | | | |

Ancho x Largo del total de folíolos

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------|-----|----------------|-------------------|------|---------|---------|
| Área | 300 | 0,98 | 0,98 | 1,90 | 1043,33 | 1058,15 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|------------------------------|----------|---------|----------|----------|-------|---------|-----------|-------|
| Constante | -0,27 | 0,51 | -1,27 | 0,73 | -0,53 | 0,5967 | | |
| Ancho x largo | 0,71 | 0,03 | 0,66 | 0,76 | 27,00 | <0,0001 | 728,75 | 24,36 |
| (Ancho x largo) ² | -8,5E-04 | 3,2E-04 | -1,5E-03 | -2,2E-04 | -2,64 | 0,0086 | 8,97 | 24,36 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|----------|----|----------|----------|---------|
| Modelo. | 27097,56 | 2 | 13548,78 | 7264,55 | <0,0001 |
| Ancho x largo | 27084,52 | 1 | 27084,52 | 14522,11 | <0,0001 |
| (Ancho x largo) ² | 13,04 | 1 | 13,04 | 6,99 | 0,0086 |



| | | | |
|-------|----------|-----|------|
| Error | 553,92 | 297 | 1,87 |
| Total | 27651,48 | 299 | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------------|----------|-----|----------|---------|---------|
| Modelo. | 27097,56 | 2 | 13548,78 | 7264,55 | <0,0001 |
| Ancho x largo | 27097,56 | 2 | 13548,78 | 7264,55 | <0,0001 |
| Error | 553,92 | 297 | 1,87 | | |
| Total | 27651,48 | 299 | | | |

Ancho de los folíolos principales

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|--------|--------|
| Área | 100 | 0,86 | 0,86 | 11,87 | 529,17 | 539,59 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|--------------------|--------|------|---------|---------|-------|---------|-----------|-------|
| Constante | -11,76 | 5,99 | -23,65 | 0,12 | -1,97 | 0,0523 | | |
| Ancho | 7,65 | 2,43 | 2,84 | 12,47 | 3,15 | 0,0022 | 11,85 | 51,44 |
| Ancho ² | 0,06 | 0,24 | -0,42 | 0,54 | 0,23 | 0,8169 | 2,06 | 51,44 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo | 6517,01 | 2 | 3258,50 | 294,35 | <0,0001 |
| Ancho | 6516,41 | 1 | 6516,41 | 588,65 | <0,0001 |
| Ancho ² | 0,60 | 1 | 0,60 | 0,05 | 0,8169 |
| Error | 1073,81 | 97 | 11,07 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo. | 6517,01 | 2 | 3258,50 | 294,35 | <0,0001 |
| Ancho | 6517,01 | 2 | 3258,50 | 294,35 | <0,0001 |
| Error | 1073,81 | 97 | 11,07 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |



Largo de los folíolos principales:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|--------|--------|
| Área | 100 | 0,75 | 0,74 | 20,97 | 587,49 | 597,91 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|--------------------|--------|-------|---------|---------|-------|---------|-----------|-------|
| Constante | -27,19 | 11,86 | -50,72 | -3,66 | -2,29 | 0,0240 | | |
| Largo | 7,96 | 2,92 | 2,17 | 13,75 | 2,73 | 0,0076 | 9,37 | 81,25 |
| Largo ² | -0,15 | 0,18 | -0,50 | 0,20 | -0,86 | 0,3921 | 2,74 | 81,25 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo | 5666,83 | 2 | 2833,41 | 142,85 | <0,0001 |
| Largo | 5652,17 | 1 | 5652,17 | 284,96 | <0,0001 |
| Largo ² | 14,66 | 1 | 14,66 | 0,74 | 0,3921 |
| Error | 1923,99 | 97 | 19,83 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo | 5666,83 | 2 | 2833,41 | 142,85 | <0,0001 |
| Largo | 5666,83 | 2 | 2833,41 | 142,85 | <0,0001 |
| Error | 1923,99 | 97 | 19,83 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |

Ancho x Largo de los folíolos principales:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------|-----|----------------|-------------------|------|--------|--------|
| Área | 100 | 0,98 | 0,98 | 1,45 | 321,41 | 331,83 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|------------------------------|----------|---------|----------|---------|-------|---------|-----------|-------|
| Constante | -0,56 | 1,00 | -2,54 | 1,42 | -0,56 | 0,5759 | | |
| Ancho x largo | 0,71 | 0,05 | 0,61 | 0,81 | 14,67 | <0,0001 | 214,97 | 30,09 |
| (Ancho x largo) ² | -7,3E-04 | 5,6E-04 | -1,8E-03 | 3,7E-04 | -1,32 | 0,1891 | 3,74 | 30,09 |



Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|---------|----|---------|---------|---------|
| Modelo. | 7456,34 | 2 | 3728,17 | 2689,24 | <0,0001 |
| Ancho x largo | 7453,92 | 1 | 7453,92 | 5376,73 | <0,0001 |
| (Ancho x largo) ² | 2,42 | 1 | 2,42 | 1,75 | 0,1891 |
| Error | 134,47 | 97 | 1,39 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------------|---------|----|---------|---------|---------|
| Modelo. | 7456,34 | 2 | 3728,17 | 2689,24 | <0,0001 |
| Ancho x largo | 7456,34 | 2 | 3728,17 | 2689,24 | <0,0001 |
| Error | 134,47 | 97 | 1,39 | | |
| Total | 7590,81 | 99 | | | |

ANEXO 3: Tabla de análisis de regresión lineal entre área foliar observada y estimada de folíolos totales y principales.

Regresión lineal simple del total:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------------|-----|----------------|-------------------|------|---------|---------|
| Área observada | 310 | 0,98 | 0,98 | 1,99 | 1093,18 | 1104,39 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|--------|-------|------|---------|---------|--------|---------|-----------|------|
| const | -0,24 | 0,21 | -0,65 | 0,18 | -1,11 | 0,2667 | | |
| lineal | 1,01 | 0,01 | 0,99 | 1,02 | 127,86 | <0,0001 | 16296,80 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|----------|-----|----------|----------|---------|
| Modelo. | 32129,67 | 1 | 32129,67 | 16348,70 | <0,0001 |
| lineal | 32129,67 | 1 | 32129,67 | 16348,70 | <0,0001 |
| Error | 605,30 | 308 | 1,97 | | |
| Total | 32734,97 | 309 | | | |



Regresión lineal cuadrática del total de folíolos:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------------|-----|----------------|-------------------|------|---------|---------|
| Área observada | 310 | 0,93 | 0,93 | 7,64 | 1507,43 | 1518,64 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | st. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|---------|----------|---------|----------|----------|--------|---------|-----------|------|
| const | 11,70 | 0,26 | 11,19 | 12,20 | 45,41 | <0,0001 | | |
| polinom | -9,3E-04 | 1,5E-05 | -9,6E-04 | -9,1E-04 | -63,79 | <0,0001 | 4057,50 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|----------|-----|----------|---------|---------|
| Modelo. | 30431,84 | 1 | 30431,84 | 4069,67 | <0,0001 |
| polinom | 30431,84 | 1 | 30431,84 | 4069,67 | <0,0001 |
| Error | 2303,14 | 308 | 7,48 | | |
| Total | 32734,97 | 309 | | | |

Regresión lineal simple de los folíolos principales:

Análisis de regresión lineal

| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------------|-----|----------------|-------------------|------|--------|--------|
| Área observada | 103 | 0,98 | 0,98 | 1,70 | 346,74 | 354,65 |

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|--------|-------|------|---------|---------|-------|---------|-----------|------|
| const | -0,24 | 0,38 | -0,99 | 0,51 | -0,63 | 0,5292 | | |
| lineal | 0,98 | 0,01 | 0,95 | 1,00 | 77,51 | <0,0001 | 5950,10 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|---------|-----|---------|---------|---------|
| Modelo. | 9805,94 | 1 | 9805,94 | 6007,99 | <0,0001 |
| lineal | 9805,94 | 1 | 9805,94 | 6007,99 | <0,0001 |
| Error | 164,85 | 101 | 1,63 | | |
| Total | 9970,78 | 102 | | | |



Regresión lineal cuadrática de principales:

Análisis de regresión lineal

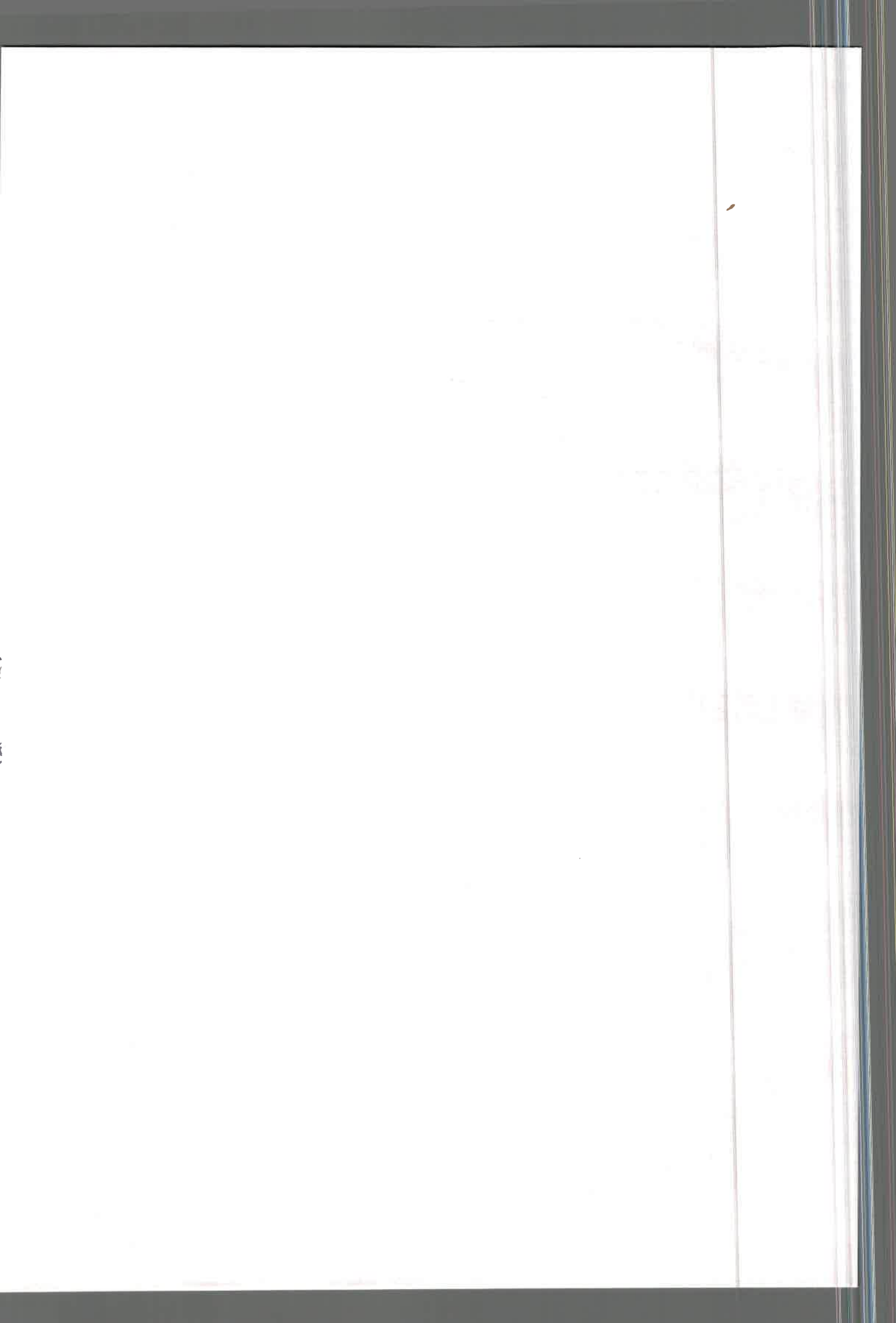
| Variable | N | R ² | R ² Aj | ECMP | AIC | BIC |
|----------------|-----|----------------|-------------------|------|--------|--------|
| Área observada | 103 | 0,95 | 0,95 | 5,02 | 457,16 | 465,06 |

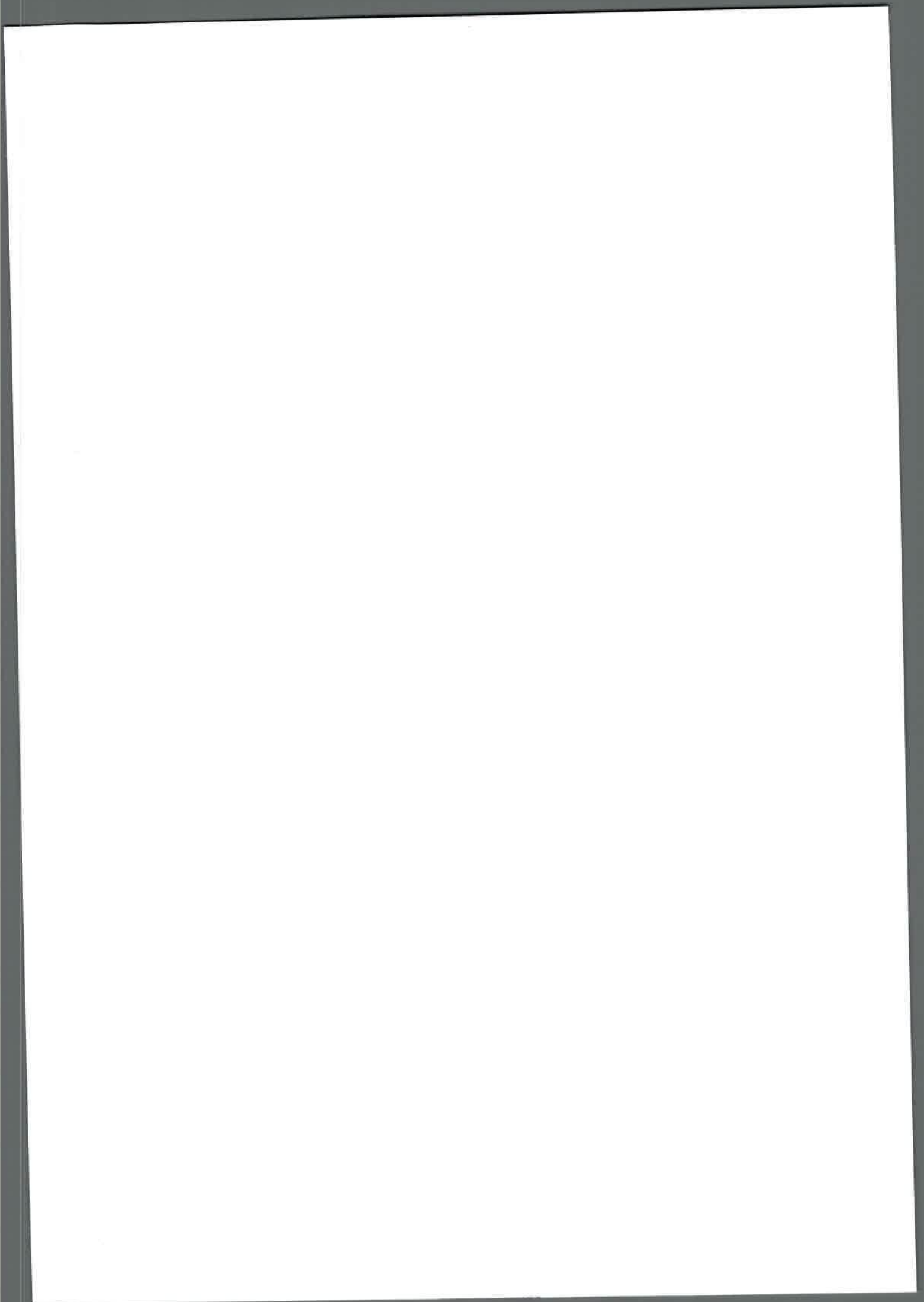
Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

| Coef | Est. | E.E. | LI(95%) | LS(95%) | T | p-valor | CpMallows | VIF |
|-------|----------|---------|----------|----------|--------|---------|-----------|------|
| const | 12,41 | 0,40 | 11,62 | 13,20 | 31,18 | <0,0001 | | |
| polin | -1,0E-03 | 2,3E-05 | -1,1E-03 | -9,6E-04 | -44,61 | <0,0001 | 1971,72 | 1,00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|---------|-----|---------|---------|---------|
| Modelo | 9489,22 | 1 | 9489,22 | 1990,22 | <0,0001 |
| polin | 9489,22 | 1 | 9489,22 | 1990,22 | <0,0001 |
| Error | 481,56 | 101 | 4,77 | | |
| Total | 9970,78 | 102 | | | |





73241