

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)

Marchetti Tumini, Alexis Nicolás
DNI: 33596498

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

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: Marchetti, Alexis
DNI: 33596498

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

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

Giayetto, Oscar _____

Kearney, Marcelo _____

Boito, Graciela _____

Fecha de Presentación: 16/12/2014

Secretario Académico

INDICE GENERAL

Introducción.....	1
Hipótesis.....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.....	7
Materiales y Métodos.....	7
Resultados.....	8
1. Determinación de la relación entre el área foliar real y medidas morfométricas (largo y ancho) y peso seco, de los folíolos.....	8
2. Validación de las ecuaciones obtenidas	11
Discusión.....	13
Conclusiones.....	15
Bibliografía.....	16
Anexo I.....	24

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagramas de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el ancho, largo y peso seco de los folíolos	9
Figura 2: 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.....	10
Figura 3: Diagrama de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el área foliar estimada.....	12
Figura 4: Diagrama de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el área foliar estimada	13

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables en estudio y el área foliar observada, de cada folíolo	8
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	9
Tabla 3: Valores de R^2 , ECMP, AIC, valor de p y estadísticos de la regresión lineal polinómica de 2° grado ajustada, para cada variable evaluada.....	9
Tabla 4: Ecuaciones de regresión lineal simple para estimación del área foliar en base al largo, ancho y peso seco del folíolo	11

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	11
Tabla 6: Valores de R^2 , ECMP, AIC y valor de p , obtenidos de la regresión lineal entre área foliar observada y área foliar estimada por ancho.....	12
Tabla 7: Valores de ancho, área observada y área estimada calculada a partir de la ecuación de regresión lineal simple	24
Tabla 8: Valores de ancho, área observada y área estimada calculada a partir de la ecuación de regresión lineal polinómica de 2° grado.....	2

RESUMEN

Dada la importancia de cuantificar el área foliar remanente del cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sobre el rendimiento y debido a que contar con un equipo de medición de área foliar resulta costoso, se hace importante utilizar métodos indirectos para la determinación de dicha área. El objetivo del presente trabajo fue 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. Para tal fin se extrajeron 300 hojas al azar de los tres estratos del cultivo (superior, medio e inferior). Los folíolos de cada una de las hojas fueron analizados con WinFolia a los fines de determinar el área foliar y las medidas de largo y ancho de cada folíolo. Luego se llevaron a estufa a fin de obtener el peso seco de los mismos. Los datos obtenidos de área foliar, largo, ancho y peso seco, fueron sometidos a análisis de correlación de Pearson y a análisis de regresión lineal simple y polinómica de segundo grado, y se obtuvieron las ecuaciones para cada variable (largo, ancho y peso seco). Además se validaron los datos de área estimada (a partir de la variable ancho que fue la que mejor ajustó) y el área observada, mediante regresión lineal simple y polinómica de segundo grado. El área foliar resultó positivamente correlacionada, en ambos modelos, con el ancho ($R^2=0,86$), peso seco ($R^2=0,81$) y con el largo ($R^2=0,75$). Al considerar otros criterios de selección (ECMP, AIC y pendiente 1:1) la regresión lineal simple mostró mayor precisión para la estimación del área foliar. A partir de los resultados se concluye que el ancho del folíolo es una medida precisa y práctica para la determinación indirecta del área foliar de soja debido a que es un método no destructivo.

Palabras claves: soja, área foliar, estimación indirecta.

SUMMARY

Given the importance of quantifying the remaining leaf area of soybean crop (*Glycine max* (L.) Merrill) on yield and because having a measuring leaf area equipment is expensive, it is important to use indirect methods for the determination of this area. The objective of this study was to establish the relationship between morphometric measurements of leaflets (length and width) and dry weight thereof, with leaf area in soybean crop. For this 300 sheets at random from the three levels of crop (upper, middle and lower) were extracted. The leaflets of each leaf were analyzed with WinFolia in order to determine leaf area, length and width of each leaflet. After were carried to the oven to obtain the dry weight thereof. The data of leaf area, length, width and dry weight, were subjected to Pearson's correlation analysis and simple linear regression and quadratic analysis, and the equations for each variable (length, width and dry weight) were obtained. Additionally estimated area data (from the variable width was fit best) and the area observed were validated for both linear regression models. The leaf area was positively correlated, for both models, with the width ($R^2 = 0.86$), dry weight ($R^2 = 0.81$) and with the length ($R^2 = 0.75$). When considering other criteria (ECMP , AIC and slope 1:1) simple linear regression showed greater accuracy for estimation of leaf area. From the results it is concluded that the width of the leaflet is accurate and practical measure for the indirect determination of soybean leaf area because it is a nondestructive method.

Keywords: soybean, leaf area, indirect estimation.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) se ha difundido prácticamente en todo el planeta y es uno de los principales cultivos de granos producidos a nivel mundial. La producción global supera los 260 millones de toneladas posicionándose en cuarto lugar, luego del maíz, arroz y trigo (Domingo Yagües *et al.*, 2012).

Argentina es el tercer productor mundial de esta oleaginosa (luego de USA y Brasil), con una producción de 47 millones de toneladas. En cuanto al comercio de aceite de soja, es el primer exportador mundial, representando alrededor del 43% de las exportaciones totales (Calvo *et al.*, 2008). Los primeros registros de siembra de soja datan de 1862, sin instalarse como actividad productiva y fue durante la década de 1970 cuando la producción nacional se incrementó notoriamente. Durante las últimas campañas de la primera década del siglo actual, la siembra nacional de soja mostraba una ocupación de 18,3 millones de hectáreas con una producción de 52,6 millones de toneladas (Domingo Yagües *et al.*, 2012).

En lo que respecta al área sembrada y su distribución en el país, la provincia de Buenos Aires se ubica en el primer lugar con el 31% de participación, en segundo lugar Córdoba con el 27% y luego Santa Fe con el 16%. La superficie sembrada entre estas tres provincias concentra prácticamente el 75% del total del país (Domingo Yagües *et al.*, 2012).

En la provincia de Córdoba se observa un importante incremento en la siembra en forma paralela a los niveles nacionales, siendo incluso mayor el crecimiento provincial presentando un aumento en los últimos 20 años del 280% en la superficie respecto al incremento nacional que es del 264% para el mismo período (Ghida Daza, 2012).

En forma paralela, especialmente durante la última década, se produjo un importante incremento de la producción agrícola en las tierras de uso agropecuario de la provincia y un aumento marcado de la participación de soja en el total (50% de la producción total) (Ghida Daza, 2012).

En el actual sistema productivo, el cultivo de soja es más susceptible al ataque de plagas y los insectos defoliadores se destacan entre ellos. El daño de éstos implica una pérdida de área foliar y una disminución del área fotosintética (Perotti y Gamundi, 2009).

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: menor intercepción de luz, menor capacidad fotosintética, pérdida del material almacenado en hoja y acortamiento del período del llenado de granos (Perotti y Gamundi, 2009).

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 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 del suelo, 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 espaciamento 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, abundantes 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 en diferentes cultivos (Dengler, 1984; Astegiano y Favaro, 1987; Payne *et al.*, 1991; Jatimlinsky 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 destructivos no permiten repetir las mediciones en las mismas plantas en épocas distintas. Por el contrario, los métodos no destructivos no requieren la destrucción de la muestra, con lo que se salvan los inconvenientes señalados (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 en algunos casos 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 (Kershaw y Larsen, 1992), pueden incidir a la hora de restringir su utilización.

La técnica se ha empleado con buenos resultados tanto en especies forestales (Diebolt y Mudge, 1988; Kershaw y Larsen, 1992; Baker *et al.*, 1996; Hunt y Hodson, 1999) como agrícolas, tales como maíz (*Zea mays* L.) (Storlie *et al.*, 1989; Tarbell y Reid, 1991), soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (Storlie *et al.*, 1989), papa (*Solanum tuberosum* L.) (Trooien y Heermann, 1992), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Nyakwende *et al.*, 1997), vid (*Vitis vinifera* L.) (Montero *et al.*, 2000) o taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) (Lu *et al.*, 2004).

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 fundados 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. Tales condiciones, como las relacionadas con el estrés biológico, causado por plagas y enfermedades, se manifiestan en disminuciones de área foliar por daño directo sobre las hojas o inducción de senescencia precoz de las mismas (Hidalgo *et al.*, 2006). Es evidente, además, que bajo estrés hídrico los rendimientos también se reducen como consecuencia de la pérdida de área foliar (Ribas *et al.*, 2000), y en estas situaciones un modelo matemático es apropiado, debido a que constituye una 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) y Giovanardi (1972) obtuvieron 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.

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), en 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 máximo de la hoja era la variable independiente.

En pepino (*Cucurbita pepo* L.), Robbins y Pharr (1987) compararon varios modelos para estimar el área foliar a partir de medidas lineales (longitud y ancho), obteniéndose unas correlaciones muy altas en los modelos utilizados.

Por su parte, Bange *et al.* (2000), concluyeron que las mejores determinaciones del área de hojas individuales de girasol (*Helianthus annuus* L.) requerían la medida tanto de la longitud como del ancho. No obstante, en trabajos más recientes, Roupael *et al.* (2007), Maldaner *et al.* (2009) y Aquino *et al.* (2011) utilizaron medidas lineales de longitud y ancho de las hojas de girasol, encontrando que las mejores predicciones se conseguían al emplear el ancho foliar.

En el estudio realizado en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) por Schwarz y Kläring (2001), 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, para el mismo cultivo, por Dumas (1990) y Balakrishnan *et al.* (1992) quienes encuentran que las estimaciones mejoran cuando se usa el producto de la longitud por el ancho.

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.

Con el fin de establecer un modelo para calcular el área foliar de la arveja (*Pisum sativum* L.) Galindo y Clavijo (2007) establecieron que el área de los folíolos y las estípulas de arveja se puede calcular eficientemente mediante modelos alométricos convencionales (largo y ancho) durante las etapas vegetativa y reproductiva del cultivo. 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 vinífera* 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), Sepúlveda y Kliewer (1983), Smith y Kliewer (1984) y Montero *et al.* (2000) obtuvieron buenas estimaciones para el área foliar empleando el producto de la longitud por el ancho. Por su parte Pire y Valenzuela (1995) y Williams y Martinson (2003) estimaron el área foliar de vid, con muy buenos resultados, a partir del ancho de las hojas.

Otros autores reportan también la gran exactitud de estos métodos de estimación en varias plantas cultivadas, como *Carthamus tinctorius* (Sepaskhah, 1977), *Fragaria* sp. (Strik y Proctor, 1985), *Capsicum annuum* (Ray y Singh, 1989), *Linum usitatissimum* L. (Fernandez *et al.*, 1989), *Cucumis melo* (Chirinos *et al.*, 1997; Nascimento *et al.*, 2002 y Lopes *et al.*, 2007), *Manilkara achras* M. Forsberg (Meza y Bautista, 1999), *Lactuca sativa* (Guo y Sun, 2001), *Beta vulgaris* L. (Tsialtas y Maslaris, 2005), *Phaseolus vulgaris* (Warnock *et al.*, 2006), *Swietenia macrophylla* (García-Corona *et al.*, 2010), *Manihot esculenta* (Burgos *et al.*, 2010) y *Pouteria sapota* (Calderon *et al.*, 2011).

Respecto al cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) Wiersma y Bailey (1975) emplearon la función logarítmica: $\log AF = a+b \cdot \log LA$, obteniendo las mejores correlaciones empleando como variable independiente el producto de la longitud por el ancho de la hoja. Asimismo, Jensen *et al.* (1977) e Ilkae *et al.* (2011) llegaron a la conclusión que los mejores resultados se obtuvieron utilizando la longitud por el ancho, pero empleando el modelo lineal.

En cuanto a los métodos basados en la relación entre el área foliar y el peso de la hoja, que requiere la destrucción de la muestra, se fundamenta en la existencia de una relativa constancia en las relaciones entre el área foliar y el peso seco o fresco de la hoja (Watson, 1937; Winter *et al.*, 1956; Alekseenko, 1965). Para establecer la relación entre el peso y el área foliar, primero se determina el área de una muestra de hojas y en segundo lugar se deseca la muestra hasta peso constante, calculándose a continuación la relación existente entre el área medida y el peso seco obtenidos (Legorburo Serra, 2005).

El problema de la técnica estriba en que la relación entre área foliar y peso seco de la hoja, no siempre es consistente (Palit y Battacharyya, 1984), pudiendo variar según el crecimiento de la planta y las condiciones ambientales y de cultivo (Lactin y Holliday, 1995; Niinemets, 1997; Gunn *et al.*, 1999; Le Roux *et al.*, 1999; Meziane y Shipley, 1999). Sin embargo, es un método que resulta conveniente cuando se requiere estimar el área foliar de una muestra de hojas muy grande (Korva y Forbes, 1997; Jonckheere *et al.*, 2004).

Como ejemplo, se pueden citar algunos estudios que han empleado el peso seco en alfalfa (*Medicago sativa* L.) (Robison y Massengale, 1967), en soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (Koller, 1972; Sivakumar, 1978; Ogbuehi y Brandle, 1981; Heinrich 1986; Garcés-Fiallos y Forcelini, 2011), en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) (Reddy *et al.* 1989), en *Pinus sylvestris* (Barrantes y Gracia, 1989), en mijo perla (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) (Payne *et al.*, 1991) y en vid (*Vitis vinifera* L.) (Ollat *et al.*, 1998; Montero *et al.*, 2000) y que mostraron la utilidad del método en estos casos.

La validación del modelo es un paso importante para asegurar las implicaciones de la ecuación producida para predecir valores del área de las hojas, a través de mediciones rápidas y de bajo costo. Este aspecto es de gran importancia, especialmente, donde el

muestreo destructivo limita, en muchas ocasiones, el seguimiento en el tiempo de procesos fisiológicos como la fotosíntesis foliar, la respiración, el crecimiento de órganos, el uso eficiente del agua y el uso eficiente de la radiación solar (Álvarez *et al.*, 2012).

Surge de lo expuesto que, a pesar de la gran cantidad de investigaciones realizadas en el tema, son pocos los estudios llevados a cabo en el cultivo de soja, por ello 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

- Obtener la relación entre el área foliar y las variables ancho, largo y peso seco de los folíolos.
- Realizar la validación de la relación obtenida con la variable que mejor ajuste 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 300 hojas al azar de los tres estratos del cultivo (superior, medio e inferior), en el estado fenológico R3-R5, por estar dentro del período de mayor susceptibilidad del cultivo a la pérdida de área foliar (Perotti y Gamundi, 2009; Quijano *et al.*, 2011). El 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. 2004a (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 donde el área foliar medida con el medidor WinFolia Reg. 2004a 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 150 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.*, 2011).

RESULTADOS

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

El coeficiente de correlación de Pearson el cual mide la magnitud de la asociación lineal entre dos variables (que no depende de las unidades de medida de las variables originales) arrojó, para las variables estudiadas, valores que oscilan entre 0.87 y 0.93 (Tabla 1). Se observa que las mayores asociaciones lineales del área foliar se corresponden con el ancho y el peso seco de los folíolos. Sin embargo, considerando que el peso seco presenta una correlación levemente inferior (0,90) en comparación con el ancho (0,93) y, que además se trata de un método destructivo sería el ancho la variable que mejor estima el área foliar.

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

Variables analizadas	Correlación de Pearson	<i>p</i> -valor	n
Ancho	0,93	<0.0001	900
Largo	0,87	<0.0001	900
Peso Seco	0,90	<0.0001	900

De los análisis de regresión lineal realizados, utilizando el área observada como variable dependiente y el ancho, largo y peso seco como variables regresoras, a fin de determinar que variable se ajusta mejor para la determinación indirecta del área foliar surge que las tres se ajustaron al modelo lineal simple y polinómico de 2° grado ($p < 0,05$) con

valores de coeficiente de determinación (R^2), error cuadrático medio de predicción (EMCP) e índice de Akaike (AIC) similares para ambos modelos, obteniendo el ancho el mayor valor de R^2 y menor valor de EMCP y AIC lo cual indica que es la variable que con más precisión estima indirectamente el área foliar (Tabla 2 y 3).

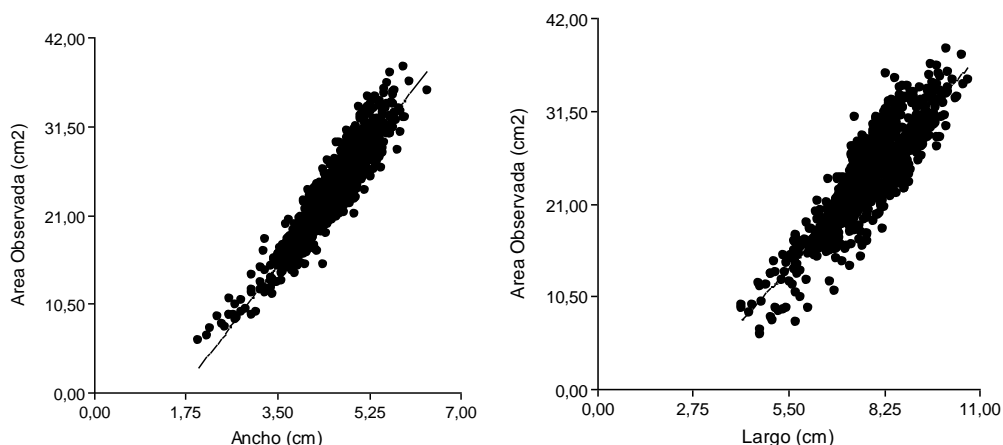
Tabla 2: Valores de R^2 , ECMP, AIC, valor de p y estadísticos de la recta de regresión lineal simple ajustada, para cada variable evaluada.

Variables analizadas	R^2	ECMP	AIC	p -valor	Ordenada al origen (a)	Pendiente (b)
Ancho	0,86	3,97	3794,99	<0,0001	-13,03	8,04
Largo	0,75	7,16	4325,92	<0,0001	-10,54	4,41
Peso Seco	0,81	5,68	4117,39	<0,0001	6,6	158,91

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

Variables analizadas	R^2	ECMP	AIC	p -valor	Ordenada al origen (a)	Estadístico (b)	Estadístico (c)
Ancho	0,86	3,95	3790,46	<0,0001	-7,99	5,69	0,27
Largo	0,75	7,09	4315,74	<0,0001	-20,74	7,13	-0,18
Peso Seco	0,81	5,61	4104,40	<0,0001	3,54	210,43	-233,69

Se observa, al analizar los diagramas de dispersión obtenidos con ambos modelos (Figuras 1 y 2), que las tres variables estuvieron estrechamente relacionadas con el área foliar, siendo esta correlación altamente positiva, mostrando el ancho y el peso seco una mayor cohesión de puntos, siendo éstos más dispersos cuando se confronta el área foliar versus largo de folíolo.



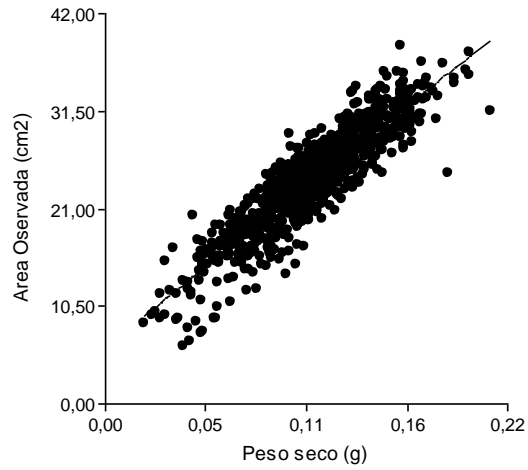


Figura 1: Diagramas de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el ancho, largo y peso seco de los folíolos.

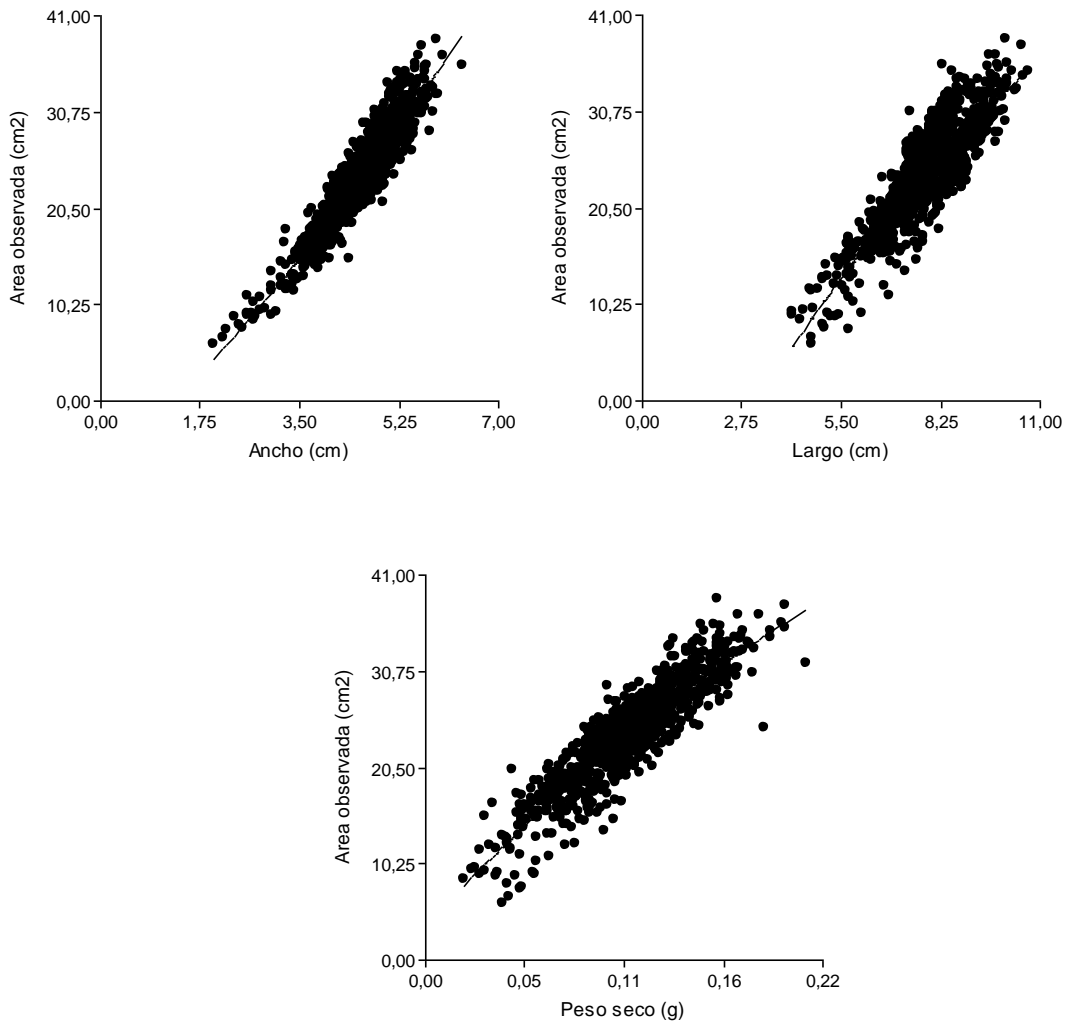


Figura 2: Diagramas de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el ancho, largo y peso seco de los folíolos.

Las líneas de regresión estimadas para cada una de las variables sólo son válidas dentro del rango de valores de dicha variable (1,99-6,36 cm para ancho; 4,17-10,67 cm para largo y 0,021-0.208 gr para peso seco) es decir, que no es conveniente extrapolar el uso de la línea para otros valores, pues la forma de la respuesta puede cambiar fuera de este rango (Gómez, 1997).

Tomando la información que proveen los resultados de cada uno de los estadísticos (ver Tablas 2 y 3), se pueden escribir las ecuaciones de los modelos ajustados (Tabla 4 y 5) según las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Área foliar} &= a + b*x \\ \text{Área foliar} &= a + b*x + c*x^2 \end{aligned}$$

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	Área= -13,03 + 8,04*x
Largo	Área= -10,54 + 4,41*x
Peso Seco	Área= 6,16 + 158,91*x

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

VARIABLES ANALIZADAS	Ecuación de regresión
Ancho	Área= -7,99 + 5,69*x + 0,27*x ²
Largo	Área= -20,74 + 7,13*x - 0,18*x ²
Peso Seco	Área= 3,54 + 210,43*x - 233,69*x ²

Solo queda reemplazar el valor de “x” por los valores de la variable que corresponda para obtener las respectivas áreas estimadas de cada uno de los folíolos.

2.- Validación de las ecuaciones obtenidas.

Debido a que en los estudios realizados para cumplir con el primer objetivo, se destaca la variable ancho de folíolo como la que mejor correlaciona a la hora de estimar el área foliar, se realizó la validación sólo con esta variable.

Con los datos de ancho de los folíolos de las 150 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 entre área foliar observada como variable dependiente y área foliar estimada por el ancho como regresora, se observa que se obtienen altos coeficientes de determinación (R^2) en ambos modelos (Tabla 6). Al considerar los demás criterios de selección, EMCP y AIC, se observan mejores ajustes para la ecuación polinómica de 2° grado.

No obstante, al validar la hipótesis que la pendiente de la línea de regresión sea 1, se acepta dicha hipótesis sólo cuando la estimación del área se hace utilizando la regresión lineal simple de la variable en estudio; concluyéndose que sólo este modelo se puede utilizar para estimar eficientemente el área foliar (Tabla 6).

Tabla 6: Valores de 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 modelo	p -valor pendiente 1:1
Ancho (regresión lineal simple)	0,95	2,23	1638,69	<0,0001	0,2394
Ancho (polinomio 2° grado)	0,96	2,07	1603,81	<0,0001	0,0165

En los dispersogramas (Figuras 3 y 4) se aprecia el grado de ajuste y gran concordancia entre los valores observados y estimados por ambos modelos.

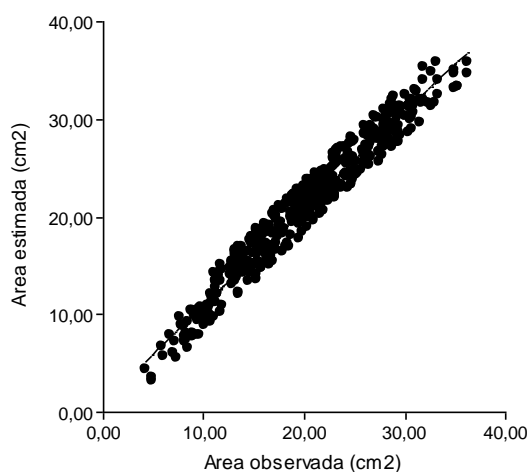


Figura 3: Diagrama de dispersión de la regresión lineal simple entre el área foliar observada y el área foliar estimada.

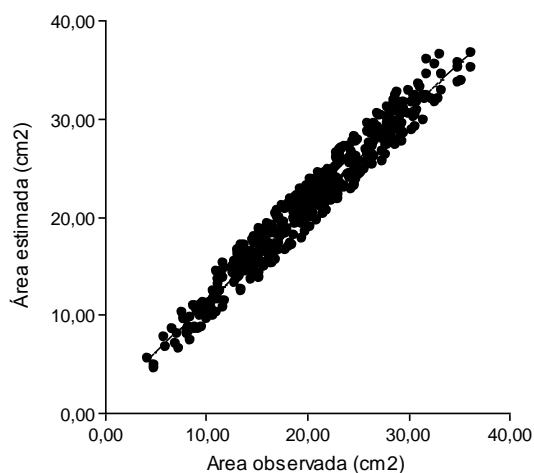


Figura 4: Diagrama de dispersión de la regresión lineal polinómica de 2° grado entre el área foliar observada y el área foliar estimada.

DISCUSIÓN

Al contrastar los modelos evaluados para la estimación del área foliar con la bibliografía consultada, se observa que estos resultados son similares a los reportados por Pire y Valenzuela (1995) en vid (*Vitis vinifera*), los cuales encontraron que en todos los casos el ancho de la hoja se comportó mejor como variable explicativa para estimar el área foliar del cultivar “French Colombard”, como alternativa cuando no se dispone de un equipo electrónico integrador de área foliar. De igual forma Williams y Martinson (2003) estimaron el área foliar en vid, para los cultivares “Niagara” y “DeChaunac”, a partir del ancho de las hojas.

Del mismo modo Legorburo Serra (2005) al estudiar la variable más apropiada para estimar el área foliar en cinco cultivares de *Vitis vinifera*, a partir de modelos matemáticos, determinó que fue el ancho máximo del limbo de la hoja. A su vez Tsialtas y Maslaris (2005) observaron que el valor del coeficiente de determinación de los modelos de predicción del área foliar, en remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) variedad “Rizor”, para dos años de cultivo, fue más estable cuando se tomó como parámetro el ancho foliar.

Por otra parte, Aquino *et al.* (2011) determinaron que los modelos para estimar el área de la lámina de la hoja del girasol (*Helianthus annuus* L.), a partir del ancho, fueron más precisos que los basados en la longitud foliar. También para girasol, Maldaner *et al.* (2009) obtuvieron el mejor resultado utilizando sólo el ancho, ya que mostró un mayor R^2 en la generación del modelo y un mejor rendimiento en la prueba. De igual manera Roupheal *et al.* (2007) encontraron que la ecuación lineal que tiene al ancho como variable independiente proporciona la estimación más precisa del área foliar del girasol.

Lopes *et al.* (2007) reportaron que los mayores valores de R^2 se produjeron cuando el área foliar en melón (*Cucumis melo* L.) se estimó a partir de mediciones del ancho

máximo de la hoja, en todas las etapas de crecimiento y también para el ciclo completo; siendo semejante a lo reportado por Nascimento *et al.* (2002) quienes obtuvieron la mejor estimación de la superficie de la hoja, en el híbrido "mina de oro", con las medidas del ancho en relación con la longitud de la hoja. En tanto que Meza y Bautista (1999) precisaron ecuaciones de regresión, para plantas jóvenes de níspero (*Manilkara achras* M. Forsberg), cultivadas bajo umbráculo, donde se estimó el área foliar a través del ancho como único parámetro.

Por último Schwarz y Kläring (2001) concluyeron, que la estimación del área foliar del tomate (*Lycopersicon spp.*) era mejor usando sólo el ancho de la hoja, lo que representó el 90% de la varianza del área foliar.

Contrastando con los resultados que utilizan modelos lineales basados en las medidas del ancho de la hoja de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), Wiersma y Bailey (1975) encontraron diferentes formulas para estimar el área foliar en base al producto del largo por el ancho de la hoja. En este sentido Jensen *et al.* (1977) evaluaron distintas ecuaciones para estimar el área foliar de soja, fundado en el largo y ancho de la hoja, determinando el siguiente modelo general: $\text{área (cm}^2\text{)} = 0,018 \times \text{L.A (mm)}$. Asimismo Ilkae *et al.* (2011) propusieron el uso de la ecuación $y = 1,129 \text{ L.A} + 1,344$ ($R^2 = 0,965$) para calcular el área foliar de cuatro cultivares de soja (Williams, Zane, L17 y M7).

En general, los resultados obtenidos en este trabajo confirman las apreciaciones de varios investigadores que utilizan medidas del ancho o longitud de las hojas para estimar el área foliar, en cuanto a las ventajas que tiene este método por su sencillez (no se requieren costosos equipos), seguimiento no destructivo del crecimiento vegetal (las mediciones pueden ser repetibles en el tiempo) y reducción a la mitad del número de mediciones, en comparación a los modelos que utilizan el producto del largo con el ancho.

En cuanto al uso del peso seco de los folíolos para determinar el área foliar, los resultados son semejantes a los propuestos por Barrantes y Gracia (1989), los cuales observaron una buena correlación entre peso de materia seca de hojas y área foliar en *Pinus sylvestris*. En el cultivo de soja, Garcés- Fiallos y Forcelini (2011) encontraron una relación significativa entre los pesos fresco o seco con el área foliar, pudiendo ser utilizada para estimar la superficie foliar de la planta y consecuentemente, el índice de área foliar (IAF). Así también, demostraron que el uso de peso seco parece más viable, pues no requiere pesar las plantas inmediatamente después de la cosecha.

CONCLUSIONES

- ✓ El ancho y el peso seco de los folíolos ajustaron de mejor manera que el largo para la determinación indirecta del área foliar.
- ✓ Debido a que la determinación del área foliar a través del peso seco de los folíolos es un método destructivo, y por ende dificulta hacer mediciones futuras, se concluye que el ancho del folíolo es una medida precisa y práctica para la determinación indirecta del área foliar en el cultivo de soja.
- ✓ El modelo lineal simple seleccionado y validado:
$$\text{Área} = -13,03 + 8,04 * \text{ancho de folíolo}$$
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.
- ✓ Es necesario desarrollar futuras investigaciones recolectando nuevas muestras sobre cultivares con diferente morfología foliar a fin de continuar con la validación del modelo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALEKSEENKO, L.N. 1965. Vesovoy method opredeleniya listovoy poverkhnosti lugovykh rasteny I lugovykh soobshchestv (Method of determining leaf surface of meadow plans and meadow communities by weighing). **Bot. Sh.** 50: 205-208.
- ÁLVAREZ, Y.; E. ÁLVAREZ; J. CANO y D. SUESCÚN. 2012. Modelo matemático para estimar área foliar en arboles del bosque tropical seco en el Caribe Colombiano. **Rev. Intropica.** 7: 69-79.
- ANDRIEU, B.; J.M. ALLIRAND y K. JAGGARD. 1997. Ground cover and leaf area index of maize and sugar beet crops. **Agronomie**, EDP Sciences, 17 (6-7): 315-321.
- AQUINO L.; V.C. DOS SANTOS JUNIOR; J.V. SANTOS GUERRA y M.M. COSTA. 2011. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia.** 70: 832-836.
- 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. **Resúmenes de la XVIII Reunión Nacional de Fisiología Vegetal.** Corrientes, Argentina. p: 4.
- 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. **Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.** 16 (2): 249-256.
- BAKER, B.; D.M. OLSZYK y D. TINGEY. 1996. Digital image analysis to estimate leaf area. **J. Plant Physiol.** 148: 530-535.
- 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.
- BANGE, M.P.; L.H. GRAEME; S.P. MILROY y G.R. KENNETH. 2000. Improving estimates of individual leaf area of sunflower. **Agron. J.** 92: 761-765.
- BARRANTES, O. y C. A. GRACIA. 1989. Estimación del área foliar a partir de la superficie de albura en *Pinus sylvestris*. **Jornadas sobre las bases ecologicas para la gestion en ecosistemas terrestres.** Zaragoza, España. p: 53-56.
- BROWN, H. y F. ESCOMBE. 1905. Researches on some of the physiological processes of green leaves. **Proc. Roy. Soc.** 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. **Cultrop**. 32(2): 91-99.
- CALVO, M.; L. ZUBIZARRETA; P. BULLRICH; P. GUNNING; A. WILLIAMS y E. MORANDI. 2008. Asociación de la Cadena de la Soja Argentina (ACSOJA). Disponible en: http://www.francomanopcardi.com.ar/news/004_abril2008/0421a125/03_agricultura_ACSOJAImportanciaEconomica.htm. Consultado: 24-09-2012.
- 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. **Rev. U.D.C.A actual. divulg. cient.** 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'. **Rev. Fac. Agron.** 14(2): 163-171.
- CLEMENTS, F.E. y W. GOLDSMITH. 1924. The phytometer method in ecology. **Carnegie Inst. of Washington Publ.** 356p.
- COOMBS, J. y D.O. HALL. 1982. Whole Plant Photosynthesis and Productivity. In: Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. **Pergamon Press, Oxford**. 171p.
- 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.
- DENGLER, N.G. 1984. Comparison of leaf development in normal, entire and lanceolated plants of tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. **Botanical Gazette**. 145: 66-77.
- DIEBOLT, K.S. y K.W. MUDGE. 1988. Use of video-imaging system for estimating leaf surface area of *Pinus sylvestris* seedlings. **Can. J. For. Res.** 18: 377-390.
- DI RIENZO, J.A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. En: <http://www.infostat.com.ar>.
- DOMINGO YAGÜES, J.; A. FERREYRA; R. LANGHI; G. PAUSICH; A. PEZZOLA y C. COMA. 2012. Campaña Sojera 2010-11. INTA, Red de Información Agropecuaria Nacional (RIAN). Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/campana-sojera-2010-2011-republica-argentina>. Consultado: Noviembre de 2012.

- 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.** 4 (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.** 5: 104-107.
- GALINDO, R.J. y J. CLAVIJO. 2007. Modelos matemáticos para estimar el área de los folíolos en arveja (*Pisum sativum* L.). Fisiología Vegetal de cultivos. **Rev. Corpoica- Ciencia y Tec. Agro.** 8 (1): 37-43.
- 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. **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. p: 5.
- GHIDA DAZA, C. A. 2012. Resultados económicos esperados de soja, Ciclo 2012/13. INTA EEA Marcos Juárez. Disponible en: **<http://inta.gob.ar/documentos/resultados-economicos-esperados-para-el-cultivo-de-soja.-ciclo-2012-13/>**. Consultado: Noviembre de 2012.
- GIOVANARDI, R. 1972. Stima dell'area fogliare mediante misru biometriche ed applicazioni allo studio della dinamica di accrescimento del mais. **Riv. Agron.** 6 (4): 243-247.
- 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.
- GÓMEZ, H. 1997. **Estadística Experimental Aplicada a las Ciencias Agrícolas.** Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín, 571p.
- GOODALL, D.W., 1947. Diurnal changes in the area of cacao leaves. **Ann. Bot. N.S.** 11: 449-451.

- GUNN, S.; J.F. FARRAR; B.E. COLLINS y M. NASON. 1999. Specific leaf area in barley: individual leaves versus whole plants. **New Phytol.** 143: 45-51.
- GUO, D.P. y Y.Z. SUN. 2001. Estimation of área of stem letucce (*Lactuca sativa* var. *Angustana*) from linear measurements. **Indian J. Agr. Sci.** 71: 483-486.
- HEINRICH LIETH, J.; J.F. REYNOLD y H.H. ROGERS. 1986. Estimation of leaf area of soybeans grown under elevated carbon dioxide levels. **Field Crops Res.** 13: 193-203.
- HIDALGO, M.; A. TAPIA; W. RODRIGUEZ y E. SERRANO. 2006. Efecto de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) sobre la fotosíntesis y transpiración foliar del banano Musa AAA cv. Valery. **Agronomía Costarricense.** 30(1):35-41.
- 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.
- HUNT, M.A. y S.L. HODSON. 1999. Accurate area determination of complex leaves using digital image analysis. **Aus. J. Plant Physiol.** 26: 767-772.
- ILKAEI, M.I.; F. PAKNEJAD; M. ZAVAREH; M.R. ARDAKANI y A. KASHANI. 2011. Prediction Model of Leaf Area in Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **American Journal of Agricultural and Biological Sciences.** 6 (1): 110-113.
- 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, Argentina. p: 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.
- JONCKHEERE, I.; S. FLECK; K. NACKAERTS; B. MUYS; P. COPPIN; M. WEISS y F. BARET. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology.** 121: 19-35.
- 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.

- KOLLER, H.R. 1972. Leaf area-Leaf weight relationships in the soybean canopy. **Crop. Sci.** 12: 180-183.
- KORVA, J.T. y G.A. FORBES. 1997. A simple and low-cost method for leaf area measurement of detached leaves. **Expl. Agric.** 33: 65-72.
- 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. **Plant photosynthetic production Manual of methods.** p: 517-555.
- LACTIN, D.J. y N.J. HOLLIDAY. 1995. Spatiotemporally variable area: mass relationship of Russet Burbank potato leaflets: implications to potato production models. **American Potato Journal.** 72: 287-297.
- 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.
- LE ROUX, X.; H. SINOQUET y M. VANDAME. 1999. Spatial distribution of leaf dry weight per area and leaf nitrogen concentration in relation to local radiation regime within an isolated tree crown. **Tree Physiol.** 19: 181-188.
- LOPES S.J.; B. BRUM; V.J. DOS SANTOS; E.B. FAGAN; G. LOPES DA LUZ y S.L.P. MEDEIROS. 2007. Estimativa da área foliar de meloeiro em estádios fenológicos por fotos digitais. **Cienc. Rural.** 37 (4).
- 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.
- 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.** 39 (5).
- MANIVEL, L. y R.J. WEAVER. 1974. Biometric correlations between leaf area and length measurements of Grenache grape leaves. **HortScience.** 9 (1): 27-28.
- McKEE, G.W. 1964. A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. **Agron. J.** 56: 240-241.
- MEZA N. y D. BAUTISTA. 1999. Estimación del área foliar en plantas jóvenes de níspero (*Manilkara achras* M. Forsberg) sometidas a dos ambientes de luz. **Biagro.** 11(1): 24-28.
- MEZIANE, D. y B. SHIPLEY. 1999. Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species: effects of irradiance and nutrient availability. **Plant, Cell and Environment.** 22: 447-459.

- MILLER, E.C. 1938. **Plant Physiology**. McGraw-Hill Co., Nueva York.
- 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.
- NASCIMENTO I.B.; C.H. FARIAS; M.C.C. SILVA; J.F DE MEDEIROS; J. ESPÍNOLA SOBRINHO y M.Z. DE NEGREIROS. 2002. Estimativa da área foliar do meloeiro. **Horticultura Brasileira**. 20(4): 555-558.
- NIINEMETS, U. 1997. Distribution patterns of foliar carbon and nitrogen as affected by tree dimensions and relative light conditions in the canopy of *Picea abies*. **Trees**. 11: 144-154.
- 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.
- OGBUEHI, S.N. y J.R. BRANDLE. 1981. Limitations in the use of leaf dry weight and leaf number for predicting leaf area of soybeans. **Crop Sci**. 21: 344-346.
- OLLAT, N.; M. FERMAUD; J.P. TANDONNET y M. NEVEUX. 1998. Evaluation of an indirect method for leaf area index determination in the vineyard: combined effects of cultivar, year and training system. **Vitis**. 37(2): 73-78.
- PALIT, P. y K. BATTACHARYYA. 1984. Measurement of leaf area per plant of white jute (*Corchorus capsularis* L.) and tossa jute (*C. olitorius* L.) using the average specific leaf weight value. **Trop. Agr**. 61: 59-80.
- 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. 2009. La importancia de saber proteger oportunamente las hojas del cultivo de soja. **Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)**, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Oliveros, Para Mejorar la Producción. 42: 113-117.
- PIRE, R. y I. VALENZUELA. 1995. Estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. "French Colombard" a partir de mediciones lineales en las hojas. **Agromía Tropical**. 45(1):143-154.
- QUIJANO, A.; CORREA LLOVET, J.I.; COBALTI, L. y E.N. MORANDI. 2011. Efecto de reducciones en el área foliar y la radiación interceptada sobre índices del crecimiento y número de frutos y semillas en canopeos de soja. **Actas del Quinto Congreso de la Soja del Mercosur y Primer Foro de la Soja Asia-Mercosur**. Rosario. 4 pp.

- RAY, R. y P. SINGH. 1989. Leaf área estimation in Capsicum (*Capsicum annuum* L.). **Scientia Horticulturae**. 39(3): 181-188.
- REDDY, V.R.; B. ACOCK; D.N. BAKER y M. ACOCK. 1989. Seasonal leaf area-leaf weight relationships in the cotton canopy. **Agron. J.** 81: 1-4.
- RIBAS, F.; M. CABELLO; M. MORENO; A. MORENO y L. LÓPEZ-BELLIDO. 2000. Respuesta fisiológica de un cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) a distintas 15 dosis de riego. **Investigación Agraria Producción y Protección Vegetal**. 15(3): 196-210.
- ROBBINS, N.S. y D. M. PHARR. 1987. Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements. **HortScience**. 22: 1264-1266.
- ROBISON, C.D. y M.A. MASSENGALE. 1967. Use of area-weight relationship to estimate leaf area in alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivar Moapa. **Crop Sci.** 7: 394-395.
- ROUPHAEL Y.; G. COLLA; S. FANASCA y F. KARAM. 2007. Leaf area estimation of sunflower leaves from simple linear measurements. **Photosynthetica**. 45(2): 306-308.
- 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.
- SIVAKUMAR M.V.K. 1978. Prediction of leaf area index in soybean (*Glycine max*(L.) Merrill) **Ann. Bot.** 42: 251-253.
- 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, Inglaterra. 236p.
- STORLIE, C.A.; A. STEPANEK y G. E. MEYER. 1989. Growth analysis of whole plants using video imagery. **Transactions of the ASAE**. 32(6): 2185-2189.
- STRIK, B.C. y J.T.A. PROCTOR. 1985. Estimating the area of trifoliolate and unequally imparipinnate leaves of strawberry. **HortScience**. 20: 1072-1074.

- TARBELL, K.A.; y J.F. REID. 1991. A computer vision system for characterizing corn growth and development. **Transactions of the ASAE**. 34(5): 2245-2255.
- 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. p: 138-139.
- TROOIJEN, T.P. y D. F. HEERMAN. 1992. Measurement and simulation of potato leaf area using image processing I. Model development. **Transactions of the ASAE**. 35(5): 1709-1712.
- TSIALTAS, J.T. y N. MASLARIS. 2005. Leaf area estimation in a sugar beet cultivar by linear models. **Photosynthetica**. 43: 477-479.
- WARNOCK, R.; J. VALENZUELA; A. TRUJILLO; P. MADRIZ y M. GUTIÉRREZ. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de cañotea. **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 area of grapevines. **J. Jap. Soc. Hort. Sc.** 66 (2): 235-244.
- WATSON, D.J. 1937. The estimation of leaf area in field crops. **J. Agric. Sci.** 27: 474-483.
- 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.
- WILLIAMS III, L. y T.E. MARTINSON. 2003. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. **Scientia Horticulturae**. 98: 493-498.
- WINTER, E.J.; P.J. SALTER; G. STANHILL y J.K. BLEASDALE. 1956. Some methods of measuring leaf area. Milthorpe, F.L. The growth of leaves. **Butterworths Scientific publications**. 6: 151-167.

ANEXO I

Tabla 7: Valores de ancho, área observada y área estimada calculada a partir de la ecuación de regresión lineal simple.

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
1	4,46	22,83	19,32
2	3,98	18,97	16,55
3	4,46	22,83	19,58
4	4,29	21,46	19,62
5	4,5	23,15	19,94
6	5,52	31,35	29,07
7	5,5	31,19	28,62
8	4,99	27,09	23,72
9	5,18	28,62	27,75
10	2,51	7,15	7,17
11	2,46	6,75	5,93
12	4,52	23,31	23,02
13	4,38	22,19	19,1
14	5,04	27,49	28,42
15	4,36	22,02	18,81
16	5,31	29,66	28,51
17	5,09	27,89	24,68
18	2,31	5,54	7,29
19	4,27	21,30	18,18
20	4,85	25,96	26,43
21	4,76	25,24	23,08
22	3,78	17,36	15,55
23	2,78	9,32	10,19
24	2,78	9,32	9,5
25	2,32	5,62	6,04
26	5,21	28,86	28,35
27	4,93	26,61	24,34
28	5,05	27,57	26,59
29	5,37	30,14	29,26
30	2,93	10,53	9,53
31	3,66	16,40	15,27
32	3,67	16,48	13,14
33	4,99	27,09	26,57
34	4,11	20,01	17,16
35	4,37	22,10	20,54
36	5,23	29,02	28,41
37	4,99	27,09	24,28
38	4,34	21,86	23,1
39	3,07	11,65	10,94
40	4,15	20,34	20,69
41	3,67	16,48	13,87
42	4,36	22,02	22,3
43	3,99	19,05	16,63
44	3,45	14,71	15,7
45	2,59	7,79	6,7
46	5,04	27,49	24,54

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
47	4,8	25,56	27,45
48	4,33	21,78	20,27
49	3,98	18,97	20,39
50	5,36	30,06	27,13
51	4,78	25,40	23,22
52	3,84	17,84	15,07
53	3,84	17,84	17,46
54	5,59	31,91	31,82
55	5,17	28,54	29,47
56	3,8	17,52	14,64
57	2,82	9,64	9,45
58	4,24	21,06	20,46
59	4,5	23,15	23,02
60	2,82	9,64	9,45
61	3,38	14,15	11,03
62	5,55	31,59	32,39
63	3,28	13,34	11,28
64	5,19	28,70	30,33
65	4,86	26,04	24,84
66	5,55	31,59	32,93
67	4,5	23,15	22,4
68	4,99	27,09	24,08
69	2,84	9,80	9,04
70	5,54	31,51	28,64
71	5,73	33,04	31,01
72	4,36	22,02	19,74
73	5,04	27,49	28,66
74	3,39	14,23	11,6
75	4,42	22,51	21,56
76	3,92	18,49	19,79
77	6,08	35,85	36,2
78	5,17	28,54	28,41
79	4,55	23,55	21,53
80	3,9	18,33	17,65
81	3,38	14,15	14,56
82	5,98	35,05	34,93
83	4,83	25,80	24,02
84	4,9	26,37	26
85	5,07	27,73	27,8
86	4,5	23,15	22,11
87	4,18	20,58	22,03
88	4,23	20,98	19,39
89	3,64	16,24	14,99
90	4,05	19,53	19,06
91	3,68	16,56	16,32
92	4,28	21,38	21,78
93	5,65	32,40	33,29
94	4,01	19,21	16,05
95	4,8	25,56	23,18

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
96	5,05	27,57	29,51
97	4,22	20,90	19,81
98	5,09	27,89	27,49
99	3,91	18,41	15,45
100	2,82	9,64	10,99
101	4,52	23,31	24,7
102	5,02	27,33	26,14
103	3,77	17,28	18,45
104	3,62	16,07	16,2
105	4,69	24,68	22,62
106	3,34	13,82	13,37
107	5,12	28,13	27,48
108	5,09	27,89	27,27
109	4,61	24,03	21,54
110	3,9	18,33	16,38
111	4,51	23,23	23,76
112	4,64	24,28	24,1
113	3,66	16,40	14,43
114	5,52	31,35	30,34
115	4,36	22,02	19,63
116	5,42	30,55	28,76
117	3,29	13,42	13,16
118	4,61	24,03	22,85
119	5,52	31,35	30,43
120	4,61	24,03	21,09
121	5,14	28,30	29,59
122	5,45	30,79	29,55
123	5	27,17	28,86
124	4,44	22,67	22,8
125	4,37	22,10	20,61
126	4,65	24,36	24,86
127	4,48	22,99	23,32
128	5,84	33,92	31,83
129	5	27,17	27,79
130	4,93	26,61	27,53
131	4,31	21,62	20,16
132	5,41	30,47	28,44
133	4,57	23,71	22,57
134	4,48	22,99	20,56
135	5,59	31,91	28,78
136	2,58	7,71	8,94
137	5,26	29,26	26,73
138	2,82	9,64	7,59
139	5,38	30,23	30,03
140	3,52	15,27	15,32
141	5,35	29,98	30,5
142	4,86	26,04	24,65
143	3,54	15,43	14,46

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
144	5,27	29,34	27,98
145	3,31	13,58	12,97
146	4,88	26,21	23,28
147	5,41	30,47	29,53
148	3,43	14,55	11,83
149	4,83	25,80	23,41
150	3,51	15,19	16,36
151	5,18	28,62	26,33
152	2,83	9,72	9,85
153	3	11,09	10,69
154	3,12	12,05	11,45
155	5,23	29,02	26,97
156	4,33	21,78	21,87
157	2,43	6,51	8,44
158	5,22	28,94	30,8
159	4,58	23,79	24,89
160	4,08	19,77	17,18
161	4,84	25,88	22,99
162	4,14	20,26	16,95
163	3,64	16,24	15,44
164	3,62	16,07	13,18
165	4,29	21,46	20,95
166	3,66	16,40	13,71
167	3,84	17,84	15,33
168	3,54	15,43	13,42
169	3,54	15,43	14
170	3,3	13,50	15,33
171	4,28	21,38	18,66
172	4,27	21,30	18,25
173	3,11	11,97	11,32
174	3,12	12,05	13,5
175	4,23	20,98	21,45
176	4,93	26,61	27,42
177	5,26	29,26	28,23
178	3,85	17,92	14,76
179	4,67	24,52	21,85
180	4,65	24,36	22,19
181	4,61	24,03	24,22
182	4,7	24,76	22,05
183	4,41	22,43	20,12
184	3,28	13,34	11,27
185	2,16	4,34	4,2
186	3,73	16,96	13,78
187	3,94	18,65	15,73
188	2,86	9,96	9,21
189	2,73	8,92	8,18
190	2,76	9,16	8,39
191	5,18	28,62	28,38

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
192	4,33	21,78	21,12
193	2,9	10,29	9,49
194	3,73	16,96	16,48
195	2,6	7,87	8,22
196	4,25	21,14	17,57
197	2,62	8,03	8,28
198	2,62	8,03	8,93
199	2,01	3,13	4,82
200	4,79	25,48	24,26
201	4,25	21,14	20,9
202	4,51	23,23	22,1
203	5,77	33,36	35,21
204	4,76	25,24	26,53
205	3,54	15,43	16,27
206	3,78	17,36	15,62
207	4,1	19,93	19,73
208	5,05	27,57	27,98
209	3,68	16,56	13,17
210	5,16	28,46	29,25
211	5,17	28,54	28,12
212	4,66	24,44	25,43
213	4,01	19,21	19,44
214	5,16	28,46	26,05
215	5,92	34,57	34,99
216	5,42	30,55	30,9
217	5,36	30,06	28,07
218	3,73	16,96	18,6
219	4,71	24,84	25,03
220	5,69	32,72	31,16
221	4,18	20,58	19,36
222	4,1	19,93	19,37
223	4,88	26,21	26,47
224	5,92	34,57	36,18
225	5	27,17	28,01
226	4,18	20,58	17,08
227	5,17	28,54	27,37
228	5,55	31,59	31,78
229	4,72	24,92	22,7
230	5,27	29,34	29,46
231	5,28	29,42	28,84
232	5,12	28,13	27,13
233	5,59	31,91	30,72
234	3,77	17,28	16,18
235	3,45	14,71	15,74
236	4,25	21,14	19,22
237	4,89	26,29	27,81
238	4,91	26,45	22,92
239	4,44	22,67	22,27

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
240	3,75	17,12	15,31
241	2,9	10,29	11,67
242	5,09	27,89	28,44
243	3,77	17,28	14,76
244	3,59	15,83	16,77
245	4,19	20,66	19,32
246	5,05	27,57	24,91
247	4,06	19,61	19,55
248	4,32	21,70	20,14
249	3,11	11,97	10,77
250	4,09	19,85	18,68
251	4,04	19,45	17,8
252	3,37	14,06	12,63
253	5,51	31,27	32,67
254	4,39	22,27	22,8
255	4,48	22,99	23,79
256	4,42	22,51	21,63
257	3,87	18,08	18,68
258	4,32	21,70	19,44
259	5,6	31,99	30,5
260	5,74	33,12	34,97
261	4,4	22,35	21,97
262	4,5	23,15	22,93
263	4,86	26,04	26,65
264	3,64	16,24	16,6
265	4,09	19,85	21,01
266	5,32	29,74	27,99
267	4,7	24,76	25,74
268	6,07	35,77	33,24
269	3,94	18,65	15,35
270	4,29	21,46	21,59
271	4,33	21,78	18,38
272	4,58	23,79	20,25
273	5,3	29,58	31,52
274	4,89	26,29	26,03
275	5,02	27,33	26,31
276	5,11	28,05	24,71
277	4,62	24,11	22,57
278	5,02	27,33	28,83
279	3,98	18,97	16,54
280	4,51	23,23	20,88
281	4,84	25,88	24,95
282	4,79	25,48	24,4
283	4,52	23,31	21,09
284	4,37	22,10	21,23
285	4,47	22,91	21,07
286	3,89	18,25	16,86
287	4,5	23,15	20,12
288	5,09	27,89	27,62
289	4,86	26,04	26,55
290	4,46	22,83	19,92
291	5,38	30,23	26,98

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
292	3,92	18,49	16,91
293	3,29	13,42	11,64
294	4,64	24,28	25,24
295	3,67	16,48	17,87
296	3,05	11,49	10,83
297	5,07	27,73	25,09
298	3,53	15,35	12,77
299	5,21	28,86	27,92
300	4,42	22,51	21,12
301	4,14	20,26	19,2
302	3,53	15,35	15,39
303	5,59	31,91	31,59
304	4,17	20,50	20,52
305	4,55	23,55	23,18
306	3,54	15,43	13,95
307	3,42	14,47	13,28
308	4,18	20,58	20,28
309	5,21	28,86	28,61
310	3,72	16,88	17,15
311	4,85	25,96	23,05
312	5,14	28,30	26,3
313	2,81	9,56	10,22
314	4,97	26,93	26,13
315	5,52	31,35	30,88
316	4,17	20,50	18,71
317	5,64	32,32	28,95
318	4,85	25,96	24,24
319	4,33	21,78	19,44
320	2,72	8,84	10,01
321	4,65	24,36	24,2
322	2,82	9,64	9,89
323	3,21	12,78	11,14
324	4,76	25,24	25,94
325	2,97	10,85	10,45
326	4,47	22,91	24,33
327	4,95	26,77	25,78
328	3,96	18,81	15,36
329	4,11	20,01	19,77
330	4,2	20,74	17,92
331	4,37	22,10	23,01
332	4,51	23,23	24,7
333	3,9	18,33	17,77
334	4,5	23,15	21,79
335	4,48	22,99	22,86
336	5,27	29,34	28,59
337	4,58	23,79	20,54
338	3,14	12,22	13,51
339	4,81	25,64	25,28
340	4,14	20,26	21,55
341	2,57	7,63	8,18
342	3,52	15,27	16,44
343	4,48	22,99	22,22

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
344	4,03	19,37	18,83
345	5,26	29,26	25,98
346	3,89	18,25	17,96
347	3,45	14,71	12,72
348	2,79	9,40	9,99
349	2,92	10,45	8,87
350	3,49	15,03	16,53
351	3,42	14,47	13,2
352	4,27	21,30	21,85
353	3,44	14,63	13,29
354	3,52	15,27	13,34
355	3,24	13,02	12,81
356	3,45	14,71	14,1
357	3,57	15,67	13,92
358	3,34	13,82	11,47
359	2,51	7,15	8,12
360	2,96	10,77	10,65
361	4,1	19,93	20,46
362	2,6	7,87	9,59
363	3,47	14,87	13,46
364	4,24	21,06	19,12
365	3,01	11,17	11,2
366	2,92	10,45	8,78
367	2,72	8,84	7,74
368	3,73	16,96	13,45
369	4,39	22,27	23,11
370	2,98	10,93	11,9
371	2,91	10,37	9,68
372	2,59	7,79	9,27
373	3,82	17,68	19,52
374	2,77	9,24	10,7
375	2,37	6,02	6,94
376	3,38	14,15	13,95
377	3,73	16,96	15,72
378	3,92	18,49	16,33
379	2,82	9,64	9,97
380	2,06	3,53	4,88
381	5,22	28,94	28,62
382	5,65	32,40	30,11
383	5,51	31,27	29,66
384	5,44	30,71	29,32
385	4,09	19,85	17,22
386	4,74	25,08	22,99
387	4,66	24,44	21,09
388	3,66	16,40	13,14
389	2,54	7,39	8,23
390	3,44	14,63	13,07
391	4,23	20,98	17,76
392	5,17	28,54	27
393	5,08	27,81	29,28
394	4,23	20,98	19,48
395	4,51	23,23	20,72

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
396	3,51	15,19	12,79
397	3,59	15,83	16,53
398	3,44	14,63	13,59
399	5,16	28,46	26,67
400	5,22	28,94	29,05
401	3,75	17,12	15,98
402	5,51	31,27	30,67
403	4,89	26,29	24,54
404	3,9	18,33	16,31
405	3,99	19,05	17,49
406	5,77	33,36	35,26
407	4,29	21,46	21,62
408	5,96	34,89	32,62
409	4,37	22,10	21,44
410	4,97	26,93	23,36
411	4,06	19,61	20,98
412	4,85	25,96	24,76
413	4,31	21,62	22,47
414	5,36	30,06	30,78
415	4,95	26,77	23,23
416	5,23	29,02	29,29
417	3,28	13,34	14,43
418	2,86	9,96	10,49
419	2,95	10,69	9,7
420	3,49	15,03	11,7
421	5,36	30,06	27,25
422	3,68	16,56	17,2
423	4,57	23,71	20,47
424	3,54	15,43	16,95
425	3,48	14,95	14,9
426	4,41	22,43	21,28
427	4,51	23,23	20,37
428	3,91	18,41	17,29
429	4,43	22,59	20,13
430	4,81	25,64	26,05
431	4,66	24,44	24,66
432	3,72	16,88	18,17
433	4,56	23,63	21,97
434	5,18	28,62	27,48
435	4,95	26,77	23,44
436	3,37	14,06	15,3
437	4,11	20,01	17,12
438	5,47	30,95	27,97
439	6,01	35,29	31,84
440	3,96	18,81	18,02
441	4,08	19,77	19,57
442	5,11	28,05	27,32
443	3,87	18,08	15,9
444	4,8	25,56	23,45
445	5,84	33,92	33,38
446	4,03	19,37	19,91
447	3,99	19,05	16,08

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
448	3,76	17,20	17,27
449	3,45	14,71	13,07
450	3,33	13,74	13,37

Tabla 8: Valores de ancho, área observada y área estimada calculada a partir de la ecuación de regresión lineal polinómica de 2° grado.

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
1	4,46	22,76	19,32
2	3,98	18,93	16,55
3	4,46	22,76	19,58
4	4,29	21,39	19,62
5	4,5	23,08	19,94
6	5,52	31,65	29,07
7	5,5	31,47	28,62
8	4,99	27,13	23,72
9	5,18	28,73	27,75
10	2,51	7,99	7,17
11	2,46	7,64	5,93
12	4,52	23,25	23,02
13	4,38	22,11	19,1
14	5,04	27,55	28,42
15	4,36	21,95	18,81
16	5,31	29,84	28,51
17	5,09	27,97	24,68
18	2,31	6,59	7,29
19	4,27	21,23	18,18
20	4,85	25,96	26,43
21	4,76	25,21	23,08
22	3,78	17,38	15,55
23	2,78	9,91	10,19
24	2,78	9,91	9,5
25	2,32	6,66	6,04
26	5,21	28,98	28,35
27	4,93	26,62	24,34
28	5,05	27,63	26,59
29	5,37	30,35	29,26
30	2,93	11,00	9,53
31	3,66	16,45	15,27
32	3,67	16,53	13,14
33	4,99	27,13	26,57
34	4,11	19,96	17,16
35	4,37	22,03	20,54
36	5,23	29,15	28,41
37	4,99	27,13	24,28
38	4,34	21,79	23,1
39	3,07	12,02	10,94
40	4,15	20,27	20,69
41	3,67	16,53	13,87
42	4,36	21,95	22,3
43	3,99	19,01	16,63

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
44	3,45	14,85	15,7
45	3,84	17,84	15,07
46	2,59	8,56	6,7
47	5,04	27,55	24,54
48	4,8	25,54	27,45
49	4,33	21,71	20,27
50	3,98	18,93	20,39
51	5,36	30,27	27,13
52	3,33	13,95	13,37
53	4,78	25,38	23,22
54	3,84	17,84	17,46
55	5,59	32,25	31,82
56	5,17	28,64	29,47
57	3,8	17,53	14,64
58	2,82	10,20	9,45
59	4,24	20,99	20,46
60	4,5	23,08	23,02
61	2,82	10,20	9,45
62	3,38	14,33	11,03
63	5,55	31,91	32,39
64	3,28	13,58	11,28
65	5,19	28,81	30,33
66	4,86	26,04	24,84
67	5,55	31,91	32,93
68	4,5	23,08	22,4
69	4,99	27,13	24,08
70	2,84	10,35	9,04
71	5,54	31,82	28,64
72	5,73	33,48	31,01
73	4,36	21,95	19,74
74	5,04	27,55	28,66
75	3,39	14,40	11,6
76	4,42	22,43	21,56
77	3,92	18,46	19,79
78	6,08	36,59	36,2
79	5,17	28,64	28,41
80	4,55	23,49	21,53
81	3,9	18,31	17,65
82	3,38	14,33	14,56
83	5,98	35,69	34,93
84	4,83	25,79	24,02
85	4,9	26,37	26
86	5,07	27,80	27,8
87	4,5	23,08	22,11
88	4,18	20,51	22,03
89	4,23	20,91	19,39
90	3,64	16,30	14,99
91	4,05	19,48	19,06
92	3,68	16,61	16,32
93	4,28	21,31	21,78
94	5,65	32,78	33,29
95	4,01	19,17	16,05

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
96	4,8	25,54	23,18
97	5,05	27,63	29,51
98	4,22	20,83	19,81
99	5,09	27,97	27,49
100	3,91	18,39	15,45
101	2,82	10,20	10,99
102	4,52	23,25	24,7
103	5,02	27,38	26,14
104	3,77	17,30	18,45
105	3,62	16,15	16,2
106	4,69	24,64	22,62
107	3,34	14,03	13,37
108	5,12	28,22	27,48
109	5,09	27,97	27,27
110	4,61	23,98	21,54
111	3,9	18,31	16,38
112	4,51	23,16	23,76
113	4,64	24,22	24,1
114	3,66	16,45	14,43
115	5,52	31,65	30,34
116	4,36	21,95	19,63
117	5,42	30,78	28,76
118	3,29	13,65	13,16
119	4,61	23,98	22,85
120	5,52	31,65	30,43
121	4,61	23,98	21,09
122	5,14	28,39	29,59
123	5,45	31,04	29,55
124	5	27,21	28,86
125	4,44	22,60	22,8
126	4,37	22,03	20,61
127	4,65	24,31	24,86
128	4,48	22,92	23,32
129	5,84	34,45	31,83
130	5	27,21	27,79
131	4,93	26,62	27,53
132	4,31	21,55	20,16
133	5,41	30,70	28,44
134	4,57	23,65	22,57
135	4,48	22,92	20,56
136	5,59	32,25	28,78
137	2,58	8,49	8,94
138	5,26	29,41	26,73
139	2,82	10,20	7,59
140	5,38	30,44	30,03
141	3,52	15,38	15,32
142	5,35	30,18	30,5
143	4,86	26,04	24,65
144	3,54	15,54	14,46
145	5,27	29,49	27,98
146	3,31	13,80	12,97
147	4,88	26,21	23,28

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
148	5,41	30,70	29,53
149	3,43	14,70	11,83
150	4,83	25,79	23,41
151	3,51	15,31	16,36
152	5,18	28,73	26,33
153	2,83	10,28	9,85
154	3	11,51	10,69
155	3,12	12,39	11,45
156	5,23	29,15	26,97
157	4,33	21,71	21,87
158	2,43	7,43	8,44
159	5,22	29,07	30,8
160	4,58	23,73	24,89
161	4,08	19,72	17,18
162	4,84	25,87	22,99
163	4,14	20,19	16,95
164	3,64	16,30	15,44
165	3,62	16,15	13,18
166	4,29	21,39	20,95
167	3,66	16,45	13,71
168	3,84	17,84	15,33
169	3,54	15,54	13,42
170	3,54	15,54	14
171	3,3	13,73	15,33
172	4,28	21,31	18,66
173	4,27	21,23	18,25
174	3,11	12,32	11,32
175	3,12	12,39	13,5
176	4,23	20,91	21,45
177	4,93	26,62	27,42
178	5,26	29,41	28,23
179	3,85	17,92	14,76
180	4,67	24,47	21,85
181	4,65	24,31	22,19
182	4,61	23,98	24,22
183	4,7	24,72	22,05
184	4,41	22,35	20,12
185	3,28	13,58	11,27
186	2,16	5,56	4,2
187	3,73	16,99	13,78
188	3,94	18,62	15,73
189	2,86	10,49	9,21
190	2,73	9,56	8,18
191	2,76	9,77	8,39
192	5,18	28,73	28,38
193	4,33	21,71	21,12
194	2,9	10,78	9,49
195	3,73	16,99	16,48
196	2,6	8,63	8,22
197	4,25	21,07	17,57
198	2,62	8,77	8,28
199	2,62	8,77	8,93

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
200	2,01	4,54	4,82
201	4,79	25,46	24,26
202	4,25	21,07	20,9
203	4,51	23,16	22,1
204	5,77	33,83	35,21
205	5,05	27,63	27,98
206	3,68	16,61	13,17
207	3,78	17,38	15,62
208	4,1	19,88	19,73
209	5,16	28,56	29,25
210	5,17	28,64	28,12
211	4,66	24,39	25,43
212	4,01	19,17	19,44
213	5,16	28,56	26,05
214	5,92	35,16	34,99
215	5,42	30,78	30,9
216	5,36	30,27	28,07
217	3,73	16,99	18,6
218	4,71	24,80	25,03
219	5,69	33,13	31,16
220	4,18	20,51	19,36
221	4,1	19,88	19,37
222	4,88	26,21	26,47
223	5,92	35,16	36,18
224	5	27,21	28,01
225	4,18	20,51	17,08
226	5,17	28,64	27,37
227	5,55	31,91	31,78
228	4,72	24,88	22,7
229	5,27	29,49	29,46
230	5,28	29,58	28,84
231	5,12	28,22	27,13
232	5,59	32,25	30,72
233	3,77	17,30	16,18
234	3,45	14,85	15,74
235	4,25	21,07	19,22
236	4,89	26,29	27,81
237	4,91	26,46	22,92
238	4,44	22,60	22,27
239	3,75	17,14	15,31
240	2,9	10,78	11,67
241	5,09	27,97	28,44
242	3,77	17,30	14,76
243	3,59	15,92	16,77
244	4,19	20,59	19,32
245	5,05	27,63	24,91
246	4,06	19,56	19,55
247	4,32	21,63	20,14
248	3,11	12,32	10,77
249	4,09	19,80	18,68
250	4,04	19,40	17,8
251	3,37	14,25	12,63

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
252	5,51	31,56	32,67
253	4,39	22,19	22,8
254	4,48	22,92	23,79
255	4,42	22,43	21,63
256	3,87	18,07	18,68
257	4,32	21,63	19,44
258	5,6	32,34	30,5
259	5,74	33,57	34,97
260	4,4	22,27	21,97
261	4,5	23,08	22,93
262	4,76	25,21	26,53
263	3,54	15,54	16,27
264	4,86	26,04	26,65
265	3,64	16,30	16,6
266	4,09	19,80	21,01
267	5,32	29,92	27,99
268	4,7	24,72	25,74
269	6,07	36,50	33,24
270	3,94	18,62	15,35
271	4,29	21,39	21,59
272	4,33	21,71	18,38
273	4,58	23,73	20,25
274	5,3	29,75	31,52
275	4,89	26,29	26,03
276	5,02	27,38	26,31
277	5,11	28,14	24,71
278	4,62	24,06	22,57
279	5,02	27,38	28,83
280	3,98	18,93	16,54
281	4,51	23,16	20,88
282	4,84	25,87	24,95
283	4,79	25,46	24,4
284	4,52	23,25	21,09
285	4,37	22,03	21,23
286	4,47	22,84	21,07
287	3,89	18,23	16,86
288	4,5	23,08	20,12
289	5,09	27,97	27,62
290	4,86	26,04	26,55
291	4,46	22,76	19,92
292	5,38	30,44	26,98
293	3,92	18,46	16,91
294	3,29	13,65	11,64
295	4,64	24,22	25,24
296	3,67	16,53	17,87
297	3,05	11,88	10,83
298	5,07	27,80	25,09
299	3,53	15,46	12,77
300	5,21	28,98	27,92
301	4,42	22,43	21,12
302	4,14	20,19	19,2
303	3,53	15,46	15,39

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
304	5,59	32,25	31,59
305	4,17	20,43	20,52
306	4,55	23,49	23,18
307	3,54	15,54	13,95
308	3,42	14,63	13,28
309	4,18	20,51	20,28
310	5,21	28,98	28,61
311	3,72	16,91	17,15
312	4,85	25,96	23,05
313	5,14	28,39	26,3
314	2,81	10,13	10,22
315	4,97	26,96	26,13
316	5,52	31,65	30,88
317	4,17	20,43	18,71
318	5,64	32,69	28,95
319	4,85	25,96	24,24
320	4,33	21,71	19,44
321	2,72	9,48	10,01
322	4,65	24,31	24,2
323	2,82	10,20	9,89
324	3,21	13,06	11,14
325	4,76	25,21	25,94
326	2,97	11,29	10,45
327	4,47	22,84	24,33
328	4,95	26,79	25,78
329	3,96	18,78	15,36
330	4,11	19,96	19,77
331	4,2	20,67	17,92
332	4,37	22,03	23,01
333	4,51	23,16	24,7
334	3,9	18,31	17,77
335	4,5	23,08	21,79
336	4,48	22,92	22,86
337	5,27	29,49	28,59
338	4,58	23,73	20,54
339	3,14	12,54	13,51
340	4,81	25,63	25,28
341	4,14	20,19	21,55
342	2,57	8,42	8,18
343	3,52	15,38	16,44
344	4,48	22,92	22,22
345	4,03	19,33	18,83
346	5,26	29,41	25,98
347	3,89	18,23	17,96
348	3,45	14,85	12,72
349	2,79	9,99	9,99
350	2,92	10,93	8,87
351	3,49	15,16	16,53
352	3,42	14,63	13,2
353	4,27	21,23	21,85
354	3,44	14,78	13,29
355	3,52	15,38	13,34

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
356	3,24	13,28	12,81
357	3,45	14,85	14,1
358	3,57	15,76	13,92
359	3,34	14,03	11,47
360	2,51	7,99	8,12
361	2,96	11,22	10,65
362	4,1	19,88	20,46
363	2,6	8,63	9,59
364	3,47	15,01	13,46
365	4,24	20,99	19,12
366	3,01	11,58	11,2
367	2,92	10,93	8,78
368	2,72	9,48	7,74
369	3,73	16,99	13,45
370	4,39	22,19	23,11
371	2,98	11,36	11,9
372	2,91	10,85	9,68
373	2,59	8,56	9,27
374	3,82	17,69	19,52
375	2,54	8,20	8,23
376	2,77	9,84	10,7
377	2,37	7,01	6,94
378	3,38	14,33	13,95
379	3,73	16,99	15,72
380	3,92	18,46	16,33
381	2,82	10,20	9,97
382	2,06	4,88	4,88
383	5,22	29,07	28,62
384	5,65	32,78	30,11
385	5,51	31,56	29,66
386	5,44	30,95	29,32
387	4,09	19,80	17,22
388	4,74	25,05	22,99
389	4,66	24,39	21,09
390	3,66	16,45	13,14
391	3,44	14,78	13,07
392	4,23	20,91	17,76
393	5,17	28,64	27
394	5,08	27,88	29,28
395	4,23	20,91	19,48
396	4,51	23,16	20,72
397	3,51	15,31	12,79
398	3,59	15,92	16,53
399	3,44	14,78	13,59
400	5,16	28,56	26,67
401	5,22	29,07	29,05
402	3,75	17,14	15,98
403	5,51	31,56	30,67
404	4,89	26,29	24,54
405	3,9	18,31	16,31
406	3,99	19,01	17,49
407	5,77	33,83	35,26

Folículo	Ancho	Área estimada	Área observada
408	4,29	21,39	21,62
409	5,96	35,51	32,62
410	4,37	22,03	21,44
411	4,97	26,96	23,36
412	4,06	19,56	20,98
413	4,85	25,96	24,76
414	4,31	21,55	22,47
415	5,36	30,27	30,78
416	4,95	26,79	23,23
417	5,23	29,15	29,29
418	3,28	13,58	14,43
419	2,86	10,49	10,49
420	2,95	11,15	9,7
421	3,49	15,16	11,7
422	5,36	30,27	27,25
423	3,68	16,61	17,2
424	4,57	23,65	20,47
425	3,54	15,54	16,95
426	3,48	15,08	14,9
427	4,41	22,35	21,28
428	4,51	23,16	20,37
429	3,91	18,39	17,29
430	4,43	22,52	20,13
431	4,81	25,63	26,05
432	4,66	24,39	24,66
433	3,72	16,91	18,17
434	4,56	23,57	21,97
435	5,18	28,73	27,48
436	4,95	26,79	23,44
437	3,37	14,25	15,3
438	4,11	19,96	17,12
439	5,47	31,21	27,97
440	6,01	35,96	31,84
441	3,96	18,78	18,02
442	4,08	19,72	19,57
443	5,11	28,14	27,32
444	3,87	18,07	15,9
445	4,8	25,54	23,45
446	5,84	34,45	33,38
447	4,03	19,33	19,91
448	3,99	19,01	16,08
449	3,76	17,22	17,27
450	3,45	14,85	13,07