

DETERMINACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DEL ÁREA FOLIAR EN PAPA USANDO UNA TÉCNICA ESTÁNDAR DE INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITES.

Ovando¹, G.; A. de la Casa¹, A. Rodríguez¹; R. Accietto¹ y L. Bressanini¹.

RESUMEN.

Las mediciones directas del Índice de Área Foliar (IAF) han sido históricamente dificultosas en papa. Las hojas son particularmente irregulares y por lo tanto la estimación de su área requiere de un procedimiento minucioso. Además, es común que en el Cinturón Verde de la ciudad de Córdoba se susciten cultivos desparejos; razón por la cual es necesario trabajar con mucho material. Se propone la búsqueda y puesta a punto de un procedimiento de cuantificación del área foliar que reúna las siguientes características: a) permitir el análisis de muestras representativas b) efectuar un procesamiento inmediato y c) poseer practicidad operativa.

Se detalla el método propuesto para la determinación fotogramétrica digital del área foliar aplicado en un ensayo de papa a campo, que presenta como novedad el tratamiento de las imágenes por medio de un software de clasificación. Su capacidad de predicción es evaluada frente a un método de medición estándar.

El método propuesto resultó equivalente al de lectura del integrador, según se aprecia analizando la regresión entre los respectivos registros ($R^2=0.99$; $p < 0.001$), aunque la determinación fotogramétrica subestima sistemáticamente el valor observado con el integrador de área.

Palabras clave: papa, área foliar, fotografía digital.

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

INTRODUCCIÓN.

El índice de área foliar (iaf), en virtud de su implicancia en el crecimiento de los cultivos, es un parámetro clave, habitualmente empleado por los diseñadores de sistemas orientados al proceso para el desarrollo y utilización de modelos, en las etapas de calibración y verificación, como así también en el trabajo agronómico experimental de diversas disciplinas, incluyendo las referidas a teledetección (Maas, 1988; Beverly y Vaniersel, 1998).

Además de los procedimientos de medición disponibles, también han sido desarrollados métodos de estimación que incorporan dimensiones características de la hoja con el fin de efectuar este cómputo. El carácter específico de las funciones se da como consecuencia de las diversas formas foliares y detalles morfológicos propios de cada especie vegetal. En el caso de algodón, ricino y sorgo se ha empleado el largo y ancho de la lámina para efectuar la estimación (Ashley et al, 1963, Wendt, 1967). Epstein y Robinson (1965) aplicaron similar criterio en papa, especie con hojas pinaticompuestas. Para hojas doble pinaticompuestas, como es el caso de *Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*, Wendt et al (1967) trabajó de igual forma.

La tecnología digital es cada vez más difundida en su aplicación para la resolución de problemas agronómicos. El empleo de métodos fotográficos ha sido utilizado con buenos resultados entre otras cosas para la cuantificación de la porosidad de cortinas rompevientos, discriminando el área cubierta del espacio abierto (Kenney, 1987). Asimismo, fueron analizadas fotografías aéreas para establecer la condición de estrés de nitrógeno en maíz (Blackmer et al., 1996). Recientemente, Lee (1997) utilizó técnicas fotogramétricas para realizar estudios no destructivos en poblaciones de *Zostera japonica* Aschers. & Graebn., consistente en estimaciones del porcentaje de cobertura, biomasa e índice de área foliar.

En papa las mediciones directas han sido históricamente dificultosas (Gordon et al., 1994). Las hojas son particularmente irregulares y por lo tanto la estimación de su área requiere un procedimiento minucioso. Además, es común que en el Cinturón Verde se susciten cultivos desaparejos por diversas causas: fallas en la plantación, defectos en la semilla, más de un tallo por casco o que éstos se presenten muy ramificados; razón por la cual es necesario trabajar con mucho material.

Dados los inconvenientes experimentados en ensayos anteriores para obtener este parámetro, se propone como objetivo la búsqueda y puesta a punto de un procedimiento de cuantificación del área foliar. Entre las principales directrices seguidas para el desarrollo de la técnica se destacan la capacidad de procesar muestras representativas, su practicidad operativa y el procesamiento inmediato.

La alternativa metodológica desarrollada consiste en la determinación fotogramétrica digital del área foliar, apoyada en procedimientos estándar de interpretación de imágenes adquiridas mediante teledetección.

Este documento detalla el método propuesto y aplicado en un ensayo de papa a campo y presenta como novedad el tratamiento de las fotografías digitales por medio de un software de clasificación, el cual se usa habitualmente para el procesamiento de información satelital. Se explican los aspectos relevantes de esta nueva metodología y su evaluación frente a un método de medición estándar.

MATERIAL Y MÉTODOS.

A campo

Se obtuvo material fresco de un ensayo de papa tardía cv Spunta, siembra que se realizó el día 16/02/98 en un lote ubicado en Camino a 60 cuadras km 10,5 del Cinturón Verde de la ciudad de Córdoba, Argentina (31° 30' 44" S 64° 08' 42" W 402 m.s.n.m.). El cultivo se encontraba en comienzo de tuberización.

En el laboratorio.

Trasladada a laboratorio, se deshojaron las plantas para separar el tallo tomando al azar 9 submuestras de tamaño semejante y se dispusieron las láminas sobre una plancha de cartulina celeste de 1 m² de superficie (fondo). El fondo fue dividido en nueve partes iguales sobre las cuales se distribuyó aleatoriamente el material. En el noveno central se colocó una lámina cuadrada rosada (referencia) de superficie conocida (81 cm²) y se procedió a fotografiar la muestra. La Figura 4a corresponde a la imagen obtenida.

En cada fracción identificada, se determinó el área foliar mediante un medidor calibrado portátil marca LI-COR 3000a (Error 0.026 %).

La fotografía fue tomada a una distancia (altura) de 2 metros, a los efectos de abarcar completamente la superficie expuesta, empleando una cámara digital Kodac DC-40.

Procedimiento digital.

El procedimiento digital consiste en identificar automáticamente los tres componentes que integran la fotografía (fondo, hoja y referencia) y cuantificar la proporción de hoja respecto a la referencia para cada imagen. Para ello se emplea la siguiente secuencia de pasos:

- 1) Recortar la imagen útil.
- 2) Separar cada noveno correspondiente a las sub - muestras)
- 3) Llevar la imagen útil a un formato TIFF de 24 bytes.
- 4) Descomponer la imagen útil en tres imágenes correspondientes a cada color del sistema RGB (Red - rojo, Green - verde , Blue - azul).
- 5) Sobre una de estas imágenes establecer los sitios de entrenamiento con el objeto de obtener las respectivas firmas espectrales de cada componente.
- 6) Clasificar la imagen, a través de un procedimiento de máxima semejanza con igual probabilidad de ocurrencia de cada una de las clases (Eastman, J. 1997)
- 7) Obtener una tabla de frecuencia de la imagen clasificada para determinar la proporción de hoja y referencia conocida de la foto. Relacionar esta proporción con la superficie conocida.

El procedimiento del paso 3 al 7 es rutinario y se utilizó la metodología habitual de clasificación del software IDRISI (v 2.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se relacionaron las 9 determinaciones de área foliar obtenidas mediante el integrador, que se consideran como observación de referencia o patrón, con las respectivas determinaciones fotogramétricas efectuadas con tomas a 2 m. de altura.

La Figura 1 ilustra esta relación, donde se establece que los dos procedimientos producen resultados semejantes. La función de ajuste presenta un coeficiente de determinación de 0.99 y la prueba de F es altamente significativa ($P < 0.01$), con un Error Estándar de Estimación de 12.735 cm^2 . Se aprecia que los puntos del diagrama de dispersión entre los valores de área foliar estimados digitalmente (en abscisas) y los obtenidos mediante el integrador (en ordenadas), se encuentran en todos los casos ligeramente por encima de la función de identidad (1:1). De esta manera se constata que el método de estimación fotogramétrica subestima el valor observado mediante el integrador de área.

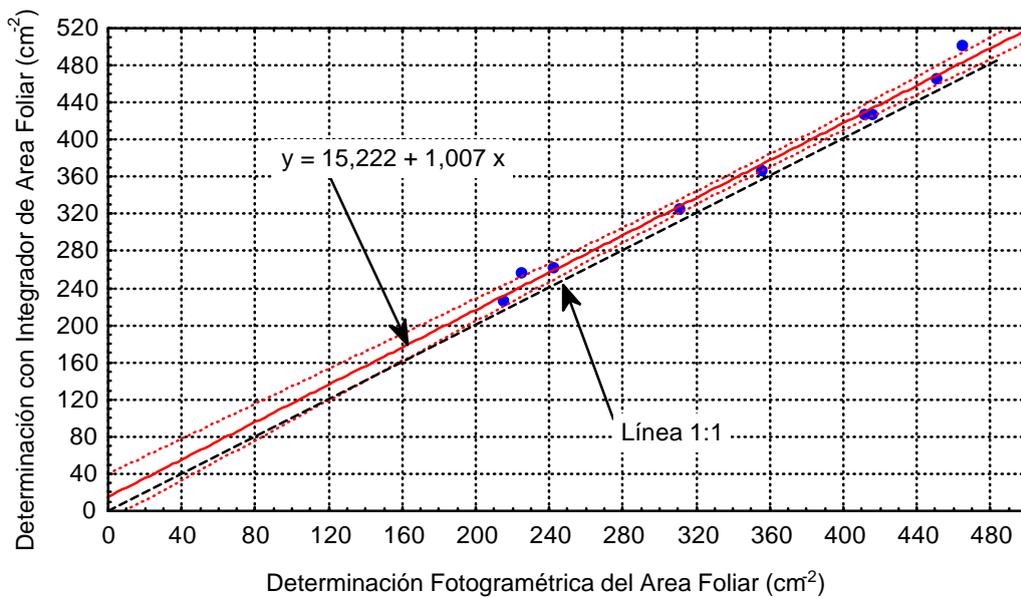
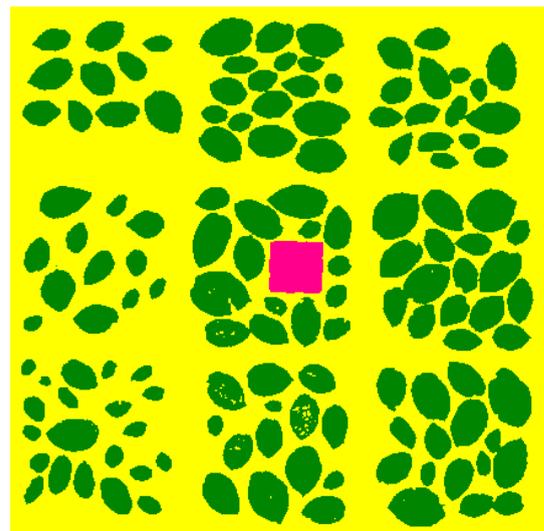
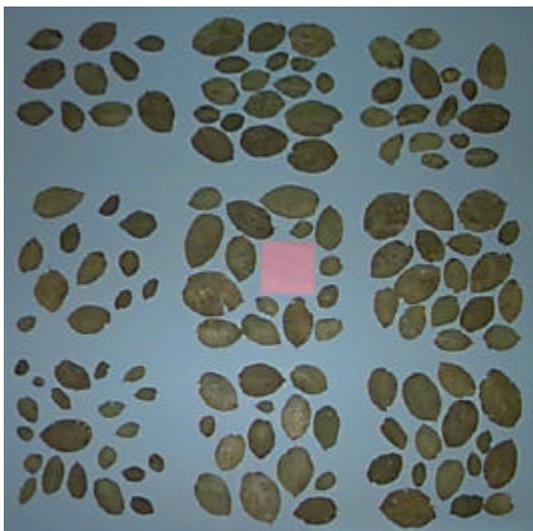


Figura1: Regresión lineal entre el Integrador de Area Foliar y la determinación Fotogramétrica de las 9 sub- muestras.

Habiendo puesto en práctica el método, en la Tabla 1 se aprecian los resultados de la frecuencia de cada clase correspondiente a la imagen que ilustra la Figura 2. A una superficie conocida del cuadrado rosa de 81 cm² en la Imagen 1 le corresponden 1805 pixeles, con lo cual se obtiene la proporción de $4,48753 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ pixel}^{-1}$. Basado en ella se puede determinar que a los 69656 pixeles de la clase hoja le corresponden aproximadamente 3125,83 cm² de superficie. La diferencia respecto de la medición efectuada con el integrador de área es de 125.83 cm², lo que representa un error del 4%.



a) Fotografía: Muestra completa, cuya área foliar medida con integrador fue 3251,66 cm²

b) Imagen: Clasificación de la Fotografía 1 estimando 3125,83 cm² de hojas.

Figura 2: Comparación entre la fotografía con las 9 sub-muestras y su correspondiente imagen clasificada.

Tabla 1: Frecuencia de clases de la Imagen.

Clase	Identificación	Color	Frecuencia	Proporción	Frec. Acum	Prop. Acum.
1	Hoja	Verde	69656	0.3698	69656	0.3698
2	Fondo	Amarillo	116894	0.6206	186550	0.9904
3	Referencia	Rosa	1805	0.0096	188355	1.0000

CONCLUSIONES

Se obtuvo un método novedoso para efectuar la determinación del área foliar que siendo aplicado en papa presenta un error entre el 2 y 4%.

BIBLIOGRAFÍA

ASHLEY, D.A., B.D. DOSS, and O.L. BENNETT, 1963. A method of determining leaf area in cotton. *Agron. J.* 55:584-585.

BEVERLY, R.B. and M.W. VANIERSEL, 1998. Calibration of a video image analysis system for measurement of stem length, leaf area, and percent ground coverage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29: 1071-1081.

BLACKMER, T.M., J.S. SCHEPERS, G.E. VARVEL, and G.E. MEYER, 1996. Analysis of aerial photography for nitrogen stress within corn fields. *Agron.J.* 88:729-733.

EASTMAN, R.J. 1997. *IDRISI: User's guide Idrisi for Windows*. Clark University.11:1-29.

EPSTEIN E. and R.R.ROBINSON,1965. A rapid method for determining leaf area of potato plants. *Agron. J.* 57:515-516

GORDON, R., D.M. BROWN and M.A DIXON, 1994. Non-destructive estimation of potato leaf area index using a fish-eye radiometer. *Potato Research* 37:393-402

KENNEY, W.A., 1987. A method for estimating windbreak porosity using digitized photographic silhouettes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 39:91-94.

LEE, S.Y., 1997. Annual cycle of biomass of a threatened population of the intertidal seagrass *Zostera japonica* in Hong Kong. *Marine Biology*, 129:183-193.

MAAS, S.J., 1988. Using satellite data to improve model estimates of crop yield. *Agronomy Journal* 80:655-662.

KORVA, J.T. and G.A. FORBES, 1997. A simple and low-cost method for leaf area measurement of detached leaves. *Experimental Agriculture* 33:65-72.

TSONEV, T and I. SERGIEV, 1993. Leaf area measurement using hand scanner. *Photosyntética* 29: 625-630.

WENDT, C. W., R. H. HAAS, and J. R. RUNKLES, 1967. Area measurement of mesquite (*Prosopis glandulosa*) leaves by using leaf length measurements. *Bot. Gaz.* 128:22-24

WENDT, C. W., 1968. Use the relationship between leaf length to estimate the leaf area of Cotton (*Gossypium hirsutum* L), Castors (*Ricinus communis* L.), and Sorghum (*Sorghum vulgare* L.) *Agron. J.* 59: 484-486.