



Estimación de la cobertura del suelo y evaluación de la fertilización nitrogenada en papa con registros de cámaras digitales convencionales y modificadas

de la Casa, Antonio Carlos
Ovando, Gustavo Gabriel
Bressanini, Luciano
Martínez, Jorge Mario

Ponencia presentada en 42º Jornadas Argentinas de Informática (JAiiO). V Congreso Argentino de AgrolInformática (CAI). Córdoba, Argentina, 16 al 20 de septiembre de 2013



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

El Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Córdoba (RDU), es un espacio donde se almacena, organiza, preserva, provee acceso libre y procura dar visibilidad a nivel nacional e internacional, a la producción científica, académica y cultural en formato digital, generada por los integrantes de la comunidad universitaria.



ESTIMACIÓN DE LA COBERTURA DEL SUELO Y EVALUACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN PAPA CON REGISTROS DE CÁMARAS DIGITALES CONVENCIONALES Y MODIFICADAS

Antonio de la Casa^{1*}, Gustavo Ovando¹, Luciano Bressanini¹ y Jorge Martínez¹.

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

delacasa@agro.unc.edu.ar

Resumen. La fracción de suelo cubierta por un cultivo (CC) determina tanto la intercepción de radiación solar como el tamaño del aparato transpiratorio. El Nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) afecta al rendimiento y la calidad de los tubérculos. Este trabajo propone desarrollar procedimientos digitales para estimar la cobertura de papa bajo distintas condiciones de fertilidad nitrogenada. Tanto la cámara convencional que produce imágenes a color como la modificada que genera imágenes de **NDVI**, como así también los procedimientos para estimar **CC**, se presentaron apropiados para detectar diferencias en **CC** asociadas a la condición de fertilidad existente. El método del cociente entre la banda verde y roja para determinar **CC**, pierde sensibilidad en la etapa de senescencia del cultivo. La diferencia en la fertilización, produjo una disminución anticipada de **CC** al final del ciclo lo que redujo tanto la productividad como la calidad comercial del cultivo.

Palabras Claves: cobertura del cultivo, papa, fotografías digitales, fertilización nitrogenada

INTRODUCCIÓN

La fracción de suelo cubierta por el follaje o cobertura de un cultivo (CC), es decir la proporción de la superficie del terreno cubierto por el canopeo visto desde una determinada altura, constituye un parámetro biofísico utilizado para representar distintas funciones del crecimiento y desarrollo de los cultivos. La CC ha sido empleada para determinar tanto la tasa de intercepción de radiación del canopeo [1-2], como para representar el tamaño del aparato transpiratorio y, a partir del concepto de productividad del agua, estimar el rendimiento de un cultivo [3].

El mercado de comercialización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) está poniendo énfasis de manera creciente en la calidad del producto cosechado, tanto si se destina a la industria como para el consumo doméstico. Por lo tanto, el productor necesita alcanzar rendimientos elevados de tubérculos de buena calidad [4]. El Nitrógeno (N) es el nutriente que ha recibido mayor atención en el cultivo de papa porque tanto su deficiencia como exceso puede afectar negativamente el desarrollo del cultivo en términos de rendimiento y la calidad de los tubérculos [5-6].

A través del registro de la energía que reflejan y emiten los objetos, la teledetección constituye una técnica ampliamente difundida para identificar la vegetación y determinar distintos parámetros biofísicos, incluyendo la CC [7]. La reflectancia espectral de un cultivo se correlaciona con el crecimiento alcanzado, y tiene potencial de proporcionar información sobre su estado de N [8]. Si bien existen diferentes procedimientos para la estimación remota de CC, la técnica de correlación y regresión a partir de distintos indicadores espectrales ha sido la más difundida, y el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) uno de los más empleados. La primera generación de sensores multispectrales de la vegetación (Landsat 5 TM) ya disponía de cuatro bandas relativamente anchas en los rangos visible e infrarrojo cercano para evaluar la productividad de los cultivos estableciendo la relación de la reflectancia de estas bandas, en principio, porque con ellas es posible distinguir entre la vegetación y el suelo desnudo [9].

No obstante, [10] utilizando una cámara digital a color determinaron el verdor del follaje en trigo realizando el cálculo de la relación entre la banda verde (v) y roja (r) de cada píxel de la imagen, o sea sólo con información espectral del rango visible. También [11] desarrollaron un indicador denominado Índice Visible Resistente Atmosféricamente, que utiliza exclusivamente datos radiométricos en el rango del visible para estimar la condición de cobertura en maíz y trigo.

[12], por su parte, sostienen que debido a las diferencias espectrales entre la vegetación y el suelo en las longitudes de onda del verde y del rojo, las imágenes a color de cámaras digitales pueden ser útiles para determinar tanto la biomasa como el estado nutricional de los cultivos, de modo que usaron el índice de la diferencia verde-rojo normalizada (NGRDI) para tener en cuenta las diferencias en la exposición. Sin embargo, mientras para distintos cultivos la biomasa entre 0 y 120 g m⁻² se correlacionó con NGRDI, el índice dejó de aumentar para valores de biomasa superiores a 150 g m⁻². El NGRDI tampoco mostró diferencias en el estado de N de un experimento de fertilización con maíz, aunque las áreas de bajo contenido en N eran evidentes en fotografías digitales al final del ciclo.

[13] elaboraron indicadores con datos de reflectancia en el rango visible (v y r) para estimar la cobertura en trigo, estableciendo que estos valores están estrechamente correlacionados ($R^2 > 0,86$) con el NDVI obtenido a partir de los dispositivos comerciales GreenSeeker® y Yara N-Sensor, que utilizan las reflectancias del rojo e infrarrojo cercano de la cubierta del cultivo. Concluyeron que las estimaciones obtenidas a

partir de una cámara digital comercial o a partir de sensores más especializados proporcionan información equivalente sobre la condición de fertilización de un cultivo.

Usando imágenes hiperespectrales, [14] determinaron distintos índices de vegetación que correlacionaron con los niveles de estrés hídrico del cultivo de manzana bajo condiciones controladas. La correlación más alta se obtuvo con Red Edge NDVI a 705 y 750 nm de banda estrecha y los índices NDVI a 680 y 800 nm en los índices de banda ancha. De todos modos, también la cobertura estimada a partir de una cámara digital comercial se utilizó con éxito como indicador de la condición de estrés. De esta forma, los resultados experimentales indican que sensores ópticos pueden servir de apoyo para detectar la condición de estrés de la vegetación.

El análisis de imágenes de fotografías digitales se ha aplicado en diferentes campos de investigación: determinación de la diferencia de color y fertilidad en cultivos de maíz [15], estimación de la fracción de suelo cubierto por el conopeo de soja [16], evaluación de la porosidad de barreras rompevientos [17] o cuantificación del número de flores de un árbol [18], entre otras.

En vistas de la creciente accesibilidad a los recursos digitales, ya sea a partir de cámaras convencionales sensibles a la parte visible del espectro, como de otros dispositivos modificados para ampliar el espectro que incorpora información del infrarrojo, este trabajo propone desarrollar procedimientos digitales para estimar la cobertura en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) de un modo simple, no destructivo, e igual de efectivo que otros métodos de mayor costo económico y operativo. La implementación de nuevos procedimientos para determinar CC requiere evaluar su alcance y precisión respecto a metodologías alternativas ya probadas. Por otra parte, la información producida es utilizada para monitorear el estado de fertilidad del cultivo de papa y evaluar las consecuencias productivas asociadas a esta condición.

MATERIAL Y MÉTODOS

1 Determinación de la cobertura del cultivo (CC).

La CC se determinó a partir del análisis de fotografías digitales obtenidas en forma vertical a 2 m de altura sobre el cultivo de papa. Las fotografías fueron tomadas aproximadamente en el mismo lugar del ensayo en distintas fechas durante el ciclo de cultivo, utilizando alternativamente dos máquinas fotográficas distintas. Una cámara de tipo convencional marca CyberShoot (Sony), configurada para producir imágenes de baja resolución (VGA, 640 pixeles de ancho por 480 de alto) almacenadas en formato JPEG, y otra de marca Canon, modificada por medio de un filtro para obtener directamente imágenes de NDVI. La obtención de CC en papa se realizó siguiendo respectivamente los procedimientos siguientes:

1.1 Método de máxima verosimilitud (MMV)

Este procedimiento efectúa la clasificación supervisada de la imagen obtenida por una cámara convencional siguiendo el método de máxima verosimilitud [19]. El algoritmo que se desarrolló al efecto prevé la identificación de 4 clases distintas: suelo y follaje, al sol y en penumbra, respectivamente, de modo que el procedimiento requiere delimitar sobre la imagen un conjunto de píxeles de cada una de estas condiciones. A partir de los valores medios y de desviación estándar de las muestras seleccionadas sobre la pantalla, el algoritmo asigna cada píxel a su respectiva categoría en base a la mayor probabilidad de pertenencia calculada. El control de los resultados se realizó en cada caso haciendo una comparación visual entre la fotografía original y la imagen binaria producida.

1.2 Método del cociente v/r (MC)

Utilizando la cámara convencional y de acuerdo con [10-11], la presencia de vegetación sobre el suelo se puede establecer apelando a la descomposición colorimétrica de la imagen en el rango del visible, y efectuando en cada píxel un cociente entre bandas v/r [13]. El límite para asignar la pertenencia de cada píxel se estableció en 1,05, considerando que corresponde a vegetación cuando supera ese umbral [2].

1.3 Método del NDVI (MND)

La cámara Canon esta modificada para obtener directamente imágenes NDVI. Procesando datos del infrarrojo cercano (nir) y el rojo (r) en el visible del espectro electromagnético, la determinación tradicional de NDVI usa la fórmula:

$$NDVI = \frac{(nir - r)}{(nir + r)} \quad (1)$$

Las cámaras digitales permiten la obtención por separado de las distintas bandas del espectro, de modo que una vez aislada la banda nir a través de un filtro específico y, localizada esta señal en una de las bandas de color, se puede proceder a realizar una medición del tipo $NDVI$. El modelo de cámara que se utilizó para este propósito registra el canal azul (a) y el canal verde (v) de la luz visible, mientras que el rojo corresponde al nir . De esta forma, la fórmula del NDVI puede ser reescrita como:

$$NDVI = \frac{(nir - a)}{(nir + a)} \quad (2)$$

Como en el caso anterior, la obtención de **CC** requiere discriminar cada píxel de la imagen JPG entre suelo o vegetación y, a partir de la imagen binaria producida, determinar la relación entre la cantidad de píxeles con vegetación con respecto al total, expresada como fracción (0-1) o porcentaje (0-100%). El valor utilizado como umbral en este caso fue el cero (el valor negativo se asigna al suelo), evaluando también 0,05; 0,1 y 0,15.

2 Ensayo de fertilidad a campo.

A los efectos de obtener la información de **CC**, como así también para evaluar el efecto de la fertilización sobre la productividad se diseñó un ensayo en un lote de producción comercial de 9 ha ubicado en el cinturón verde de la ciudad de Córdoba (31°30' lat. Sur, 64°08' long. Oeste, 402 m.s.n.m.). El trabajo se realizó en el año 2012 sobre un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Spunta de ciclo tardío, que se plantó el 14/02 y fue cosechado el 24/05.

Las fotografías utilizadas para estimar **CC** se obtuvieron de una grilla de 3x3 sectores equidistantes. Las filas, orientadas de este a oeste, corresponden a la dirección de los surcos siguiendo la pendiente natural del terreno a los efectos del riego. Sobre la intersección de cada fila con la cabecera, en una posición media y hacia el fondo, quedaron distribuidos los 9 sectores para realizar las mediciones en todo el lote.

La plantación de las 12 líneas hacia el sur de la primera fila (sur) se realizó sin fertilización, en tanto las líneas siguientes hacia el norte recibieron el tratamiento de fertilización comercial con 200 kg ha⁻¹ de Yaramila (19-16-0 0,7) y 200 kg ha⁻¹ de urea (46-0-0). El 11/03 se volvió a fertilizar todo el lote con 250 kg ha⁻¹ de urea (46-0-0). En los sectores 1.1, 1.2 y 1.3 (fondo del surco, posición media y cabecera, respectivamente) de la primera fila las mediciones se repitieron 3 veces en distintos lugares (hacia el E, C y O) para la obtención de **CC** y 4 para determinar el rendimiento final para cada tratamiento. En el resto del lote se tomaron fotografías hacia el sur y el norte de cada sector (2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2 y 3.3), totalizando un tamaño muestral de 30.

El rendimiento final se expresó en peso fresco y la cantidad total de tubérculos cosechados se clasificaron por tamaño en: grandes (> 150 g), medianos y chicos (< 80 g). La evaluación estadística se realizó haciendo la prueba de *t* para los valores medios de dos muestras apareadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1 Estimacion de la cobertura

La Figura 1a presenta el diagrama de dispersión entre los valores de cobertura (**CC**) en abscisa obtenidos por el método de clasificación por máxima verosimilitud (**MMV**) de la imagen digital que se obtiene de la cámara convencional y en ordenadas los estimados por el método del cociente entre las bandas *v* y *r* (**MC**). Tanto las estimaciones como las funciones de ajuste lineal se presentan diferenciadas de acuerdo a la fecha de muestreo. La información de la Figura 1b es similar pero, manteniendo los valores de **CC** que produce **MMV** en abscisa, la dispersión se presenta respecto del procedimiento binario con la cámara que produce valores de **NDVI** (**MND**).

A partir de las imágenes fotográficas extraídas extensivamente en todo el lote de papa durante el ciclo, la Figura 1b muestra que ambos procedimientos producen estimaciones de **CC** que tienden a ser similares en la medida que convergen sobre la función identidad. Si bien esto resulta más evidente al considerar el conjunto completo de datos, que produce una función de ajuste $y = 1,0315x + 3,9423$, y alcanza un coeficiente de determinación (R^2) de 0,956 ($P < 0,001$), cada fecha individualmente muestra una dispersión más marcada, como indican en cada caso los R^2 más bajos de la Figura 1b. Por su parte, en la Figura 1a se observa que las determinaciones de **CC** de ambos procedimientos siguen también esta misma tendencia, incluso mucho más acentuada en la medida que los R^2 de cada fecha superan valores de 0,92, con la excepción de los registros del 7/05 hacia el final del ciclo, cuando el **MC** produce estimaciones muy por debajo del **MMV**. Excluyendo la fecha del 7/05, la función de ajuste entre la **CC** estimada por ambos procedimientos es $y = 0,9598x + 2,223$, con un $R^2 = 0,989$ ($P < 0,001$), señalando menor dispersión que cuando se emplea **MND**.

La mayor dispersión que para cada fecha se produce entre las estimaciones de **MC** y **MMV** (Figura 1a), se justifica porque los resultados se obtienen de procedimientos de cálculo distintos pero a partir del procesamiento de la misma imagen, en tanto entre **MND** y **MMV** (Figura 1b), no sólo los métodos para obtener **CC** cambian, sino también las cámaras digitales y, en consecuencia, las imágenes que se procesan proceden de sectores no superpuestos exactamente.

De manera similar al comportamiento observado en 2008 bajo condiciones tanto geográficas, ambientales y de cultivo semejantes [20], cuando al final del ciclo la escena presenta abundante material amarillento y caído sobre el suelo, el **MC** produce valores de **CC** sistemáticamente menores a los de **MMV**. En base a la información complementaria que se obtiene del **NDVI**, y de acuerdo a la similitud de los resultados que para la misma fecha se observa con el **MMV**, se pone de manifiesto que el uso de **MC** a partir de las bandas del visible sería apropiado sólo hasta que el cultivo alcanza cobertura máxima o hasta el comienzo de la senescencia del cultivo, en este caso con resultados prácticamente semejantes.

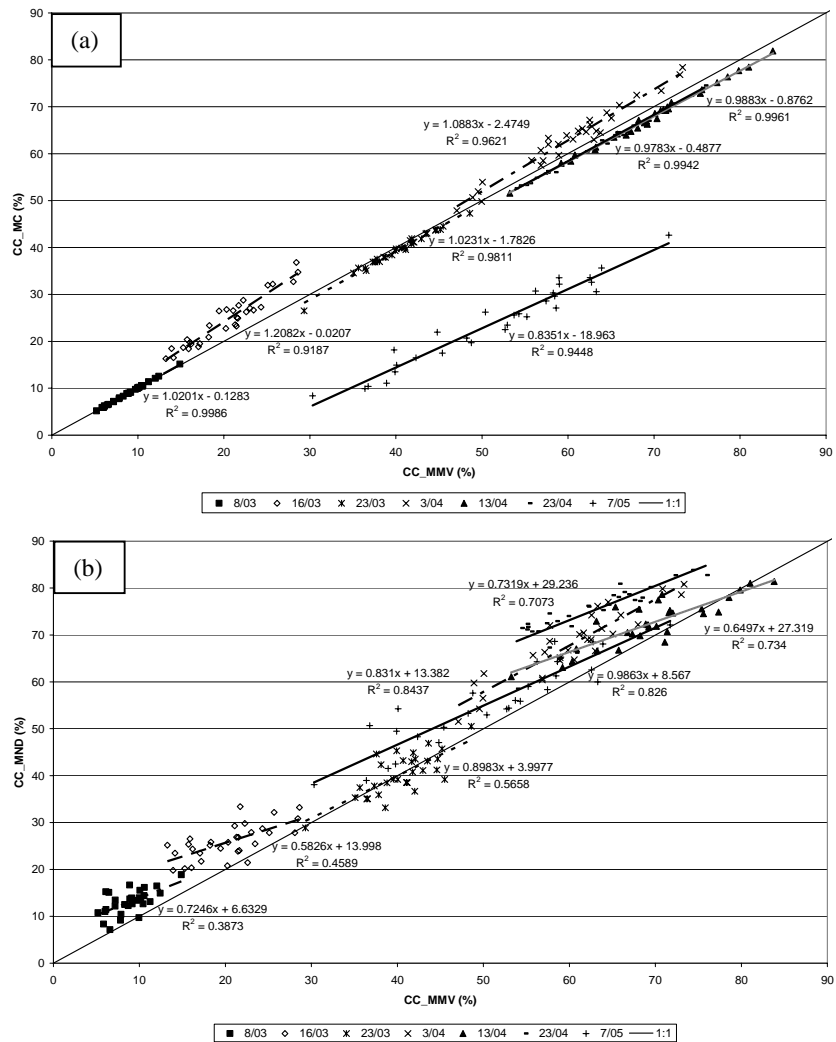


Fig. 1. (a) Relación entre la cobertura del cultivo obtenida con el método del cociente (CC_{MC}) y el método de máxima verosimilitud (CC_{MMV}) y (b) entre el método que utiliza el NDVI (CC_{MND}) y el método de máxima verosimilitud (CC_{MMV}), para distintas fechas durante el ciclo de papa tardía 2012 en Córdoba, Argentina.

Por otra parte, cabe destacar que la **CC** en 2012, a pesar de la fertilización recibida, alcanzó niveles máximos sólo ligeramente superiores a 80%, lo que redundó en valores de productividad más limitados respecto a otras campañas [2]. Para mostrar la variación de **CC** a lo largo del ciclo de acuerdo a las diferentes condiciones de fertilidad, la Figura 2 presenta los valores medios y el desvío estándar para cada tratamiento de acuerdo a las estimaciones de MC y MND. La emergencia del cultivo se presentó generalizada en el lote a partir del 3/03, algo más retrasada de lo habitual en virtud de una mayor profundidad de plantación (alrededor de 20 cm).

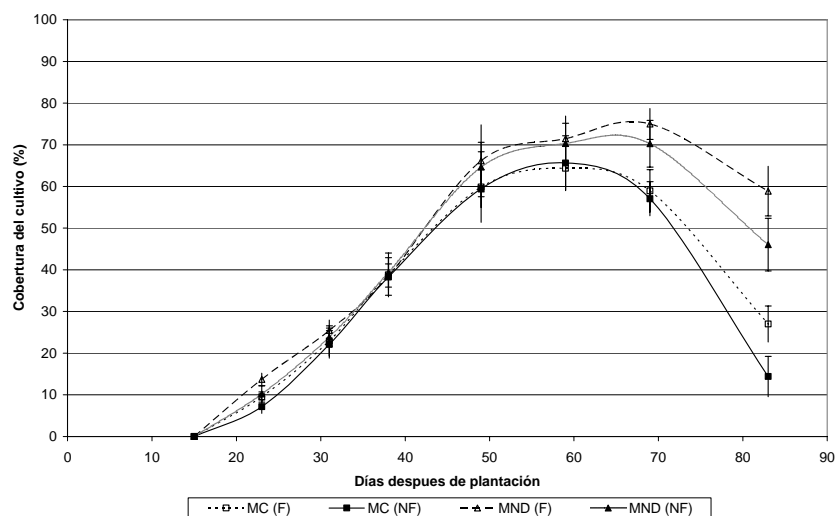


Fig. 2. Valores medios y desvío estándar de la cobertura del cultivo de papa estimados por MC y MND de acuerdo a los días después de plantación para ambos tratamientos en 2012.

La prueba de *t* de la diferencia de medias apareadas para los valores de **CC** estimados tanto a partir de MC como de MND presenta sólo valores significativos en la primera (8/03) y última (7/05) de las fechas de muestreo, como así también cuando el análisis abarca el ciclo completo (Tabla 1). Este comportamiento se justifica ya que el cultivo no se fertilizó a la plantación en el sector NF, en tanto todo el lote fue fertilizado posteriormente el 11/03, lo que repuso en general la condición de fertilidad. La diferencia de la **CC** al final del ciclo es probable que corresponda a la menor disponibilidad de **N** en el tratamiento NF cuando el cultivo hacia el final del ciclo agotó anticipadamente el nutriente.

Tabla 1. Valores de *t* y probabilidad de la diferencia de medias apareadas (n=9) de la cobertura del cultivo de papa estimados por el método del cociente (MC) y el método del NDVI (MND) para distintas condiciones de fertilización (F y NF) en 2012.

Fecha	n	MC				MND			
		F	NF	<i>t</i>	P(T<=t)	F	NF	<i>t</i>	P(T<=t)
		(%)				(%)			
08/03/2012	9	9,5	7,2	2,7971	0,0233	13,7	10,2	4,7301	0,0015
16/03/2012	9	23,2	22,1	0,6544	0,5312	25,3	23,9	1,4877	0,1751
23/03/2012	9	38,8	38,2	0,4035	0,6971	38,5	39,4	-0,8345	0,4282
03/04/2012	9	59,9	59,5	0,1341	0,8967	66,2	64,7	0,5402	0,6038
13/04/2012	9	64,3	65,6	-0,4976	0,6321	71,5	70,3	0,6231	0,5506
23/04/2012	9	58,9	57,1	0,7244	0,4894	75,0	70,3	1,8085	0,1081
07/05/2012	9	27,0	14,4	5,2880	0,0007	58,9	46,0	7,0957	0,0001
8/3 al 7/5	63	40,2	37,7	2,6794	0,0094	49,9	43,5	3,9588	0,0002

Diferencia significativas en negrita y cursiva.

Como muestra la Figura 2 y se justifica estadísticamente en la Tabla 1, la disminución que acusa **CC** por efecto de una fertilización más reducida es puesta en evidencia tanto a partir de las estimaciones que produce MC como de MND y, de este modo, justifica el empleo indistinto de ambos medios digitales, tanto cámaras (convencional o modificada) como procedimientos (MC, MND), a los efectos de evaluar la condición de estrés.

2 Productividad y calidad.

Tanto el exceso como la deficiencia de nitrógeno afectan la duración del ciclo del cultivo de papa y en consecuencia el rendimiento de tubérculos. La elevada disponibilidad de nitrógeno puede prolongar el crecimiento vegetativo, retrasar el inicio de tuberización y reducir el rendimiento [21], como así también disminuir el porcentaje de materia seca de los tubérculos [22]. Por su parte, el déficit de nitrógeno puede provocar una senescencia prematura de la parte aérea del cultivo debido a la traslocación del nitrógeno desde las hojas hacia los tubérculos [23]. Esta merma de la disponibilidad de **N** explicaría la disminución acentuada que manifestó la **CC** de papa durante la parte final del ciclo, principalmente en el tratamiento NF.

A nivel productivo, el sector F presentó mayor rendimiento total alcanzando una diferencia significativa con el tratamiento NF como muestra la Tabla 2. Esta diferencia que produjo la menor disponibilidad de **N** se proyecta también en términos cualitativos, ya que ocasionó un cambio en el tamaño de los tubérculos. En la Tabla 2 se observa que la mayor fertilización incrementa la contribución de los tubérculos de tamaño grande, en tanto se reduce la proporción de los más pequeños, resultando indiferente estadísticamente el cambio de los tubérculos medianos. Este efecto que

promueve la fertilización tiene importancia económica, localmente al menos, ya que la papa de mayor tamaño es preferida en la comercialización y muchos de los tubérculos más pequeños a la cosecha no son levantados.

Tabla 2. Valores de *t* y probabilidad de la diferencia de medias apareadas (n=12) del rendimiento final (total y clasificados por tamaño) del cultivo de papa para distintas condiciones de fertilización (F y NF) en 2012.

	n	F	NF	t	P(T<=t)
		kg PF ha ⁻¹			
Total	12	28060	24195	3,1226	0,0097
Tubérculos grandes	12	16645	10723	4,3498	0,0011
Tubérculos medianos	12	7215	7395	-0,2175	0,8318
Tubérculos chicos	12	4200	6077	-2,2119	0,0491

De este modo, ambas cámaras digitales utilizadas, tanto la comercial que produce imágenes a color como la modificada para obtener directamente imágenes de **NDVI**, como así también los procedimientos digitales desarrollados para estimar **CC**, se presentaron apropiados para detectar cambios en la **CC** asociadas a la condición de fertilidad existente. El MC pierde sensibilidad para determinar **CC** sólo cuando el cultivo de papa entra en la etapa de senescencia.

La diferencia en la fertilización y la consecuente reducción del **N** disponible, produjo una disminución anticipada de **CC** al final del ciclo que no sólo redundó en una menor productividad del cultivo de papa, también comprometió la calidad comercial al reducir la proporción de los tubérculos de mayor tamaño.

BIBLIOGRAFÍA

1. de la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Rodríguez, Á., Martínez, J.: Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica (Chile)* 67(1), 78-85 (2007)
2. de la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Martínez, J., Rodríguez, Á.: Predicción de la variabilidad del rendimiento de papa a partir de la cobertura del follaje. *Agriscientia* 29, 15-24 (2012)
3. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E.: AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*. 101, 426-437 (2009)
4. Giletto, C.M., Díaz, C., Rattín, J.E., Echeverría, H.E., Caldiz, D.O.: Green index to estimate crop nitrogen status in potato processing varieties. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(1), 142-149 (2010)
5. Caldiz, D.O.: Producción, cosecha y almacenamiento de papa en la Argentina. 226 p. BASF Argentina-McCain, Buenos Aires, Argentina (2006)

6. Samborski, S.M., Tremblay, N., Fallon, E: Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal*. 101,800-816 (2009)
7. Glenn, E.P., Huete, A.R., Nagler, P.L., Nelson, S. G.: Relationship Between Remotely-sensed Vegetation Indices, Canopy Attributes and Plant Physiological Processes: What Vegetation Indices Can and Cannot Tell Us About the Landscape. *Sensors*. 8, 2136-2160 (2005)
8. Raun, W.R., Solie, J.B., Taylor, R.K., Arnall, D.B., Mack, C.J., Edmonds, D.E.: Ramp calibration strip technology for determining midseason nitrogen rates in corn and wheat. *Agronomy Journal*. 100,1088-1093 (2008)
9. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W.: Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317 (1973)
10. Adamsen, F.J., Pinter Jr., P.J., Barnes, E.M., La Morte, R.L., Wall, G.W., Leavitt, S.W., Kimball, B.A.: Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Sci*. 39,719-724 (1999)
11. Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D.: Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sens. Environ*. 80,76-87 (2002)
12. Hunt Jr., E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey III, J. E., Walthall, C. L.: Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*. 6,359-378 (2005)
13. Li, Y., Chen, D., Walker, C.N., Angus, J.F.: Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. *Field Crops Research* 118,221-227 (2010)
14. Kim, Y., Glenn, D.M., Park J., Ngugi, H.K., Lehman, B.L.: Hyperspectral image analysis for water stress detection of apple trees. *Computers and Electronics in Agriculture* 77,155-160 (2011)
15. Ewing, R.P., Horton, R.: Quantitative color image analysis of agronomic images. *Agron. J*. 91,148-153 (1999)
16. Purcell, L.C: Soybean canopy coverage and light interception measurement using digital imagery. *Crop Sci*. 40,834-837 (2000)
17. Kenney, W.A.: A method for estimating windbreak porosity using digitized photographic silhouettes. *Agricultural and Forest Meteorology*. 39,91-94 (1987)
18. Adamsen, F.J., Coffelt, T.A., Nelson, J.M., Barnes, E.M., Rice, R.C.: Method for using images from a color digital camera to estimate flower number. *Crop Sci*. 40, 704-709 (2000)
19. Eastman, R.J.: Classification of remotely sensed imagery. p. 1-29. In: *IDRISI: User's guide Idrisi for Windows*. Clark University, Worcester, Massachusetts, USA. , (1997)
20. de la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Rodríguez, Á., Martínez, J.: Determinación de la fracción de suelo cubierta con el follaje de papa a partir del cociente entre bandas de fotografías digitales. *Actas de la XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología*. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. 20 al 22 de octubre de 2010. ISBN 978-987-26317-0-3.
21. Saluzzo, A., Echeverría, H., Andrade, F. H., Huarte, M.: Nitrogen nutrition of potato cultivars differing in maturity. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 183,157-165 (1999)
22. Cieslik, E.: Effect of the levels of nitrates and nitrites on the nutritional and sensory quality of potato tubers. *Hygiene and Nutrition in Foodservice and Catering*. 1,225-230 (1997)
23. Kleinkopf, G. E., Westermann, D. T., Dwelle, R. B.: Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. *Agronomy Journal*. 73,799-802 (1981)