

El cultivo de garbanzo en Córdoba: análisis con imágenes satelitales

Araceli Coirini Carreras¹ y Miguel Nolasco¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
aracoirini@gmail.com

Resumen. El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es una leguminosa importante como complemento o reemplazo de la proteína animal. En Argentina, en los últimos años su incorporación fue casi explosiva. El uso de sensores remotos permite en tiempo y para grandes áreas el mapeo y monitoreo del cultivo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la presencia y características del cultivo utilizando imágenes satelitales, provenientes del satélite Landsat, sobre dos campañas agrícolas contrastantes. La zona de estudio está situada en el centro-norte de la provincia de Córdoba, la metodología utilizada involucró el cálculo del NDVI para cada imagen y la clasificación no supervisada con el algoritmo K-means. El análisis de los patrones de NDVI y un modelo de clasificación no supervisada permitieron diferenciar lotes con y sin riego. Asimismo se identificó el momento de máxima asimilación de nutrientes y los efectos del estrés hídrico sobre la duración del periodo fotosintéticamente activo.

Palabras clave: NDVI, K-means, riego, LANDSAT TM.

1 Introducción

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es una de las leguminosas más importantes en el mundo, con ciclo invierno-primaveral. Su principal destino es la alimentación humana, debido a su valor nutricional, sus propiedades de conservación y múltiples formas de uso. A nivel mundial es consumido en los cinco continentes complementando o reemplazando a la proteína de origen animal [1].

Las regiones mediterráneas y los trópicos son las principales ubicaciones donde se desarrolla el cultivo de garbanzo; en Argentina se extiende desde los 20° a los 33° de Latitud Sur, con mejor adaptación en las zonas semiáridas o áridas [2]. En nuestro país la siembra se puede iniciar desde abril hasta julio dependiendo de los tipos varietales, siendo los más utilizados: Saúco, Chañaritos S-156, Norteño, Kiara UNC-FCA y Felipe UNC-FCA. Estos son de ciclo largo, y desarrollan una adecuada estructura vegetativa durante el período invernal, iniciando la floración entre la última quincena de agosto y la primera de septiembre, para finalizar el ciclo del cultivo con la cosecha en los meses de noviembre o diciembre [3]. Los tres motivos más relevantes en la incorporación del cultivo en el país fueron: el bajo requerimiento de agua, poseer

actividad de Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) y su demanda en los mercados mundiales [1]. En la campaña 2012-2013 se sembró en el departamento Río Primero la máxima superficie de los últimos años, en las siguientes dos campañas el área sembrada se redujo de forma significativa (Tabla 1) [4], siendo los problemas de sanidad, la disminución en el precio internacional y la baja calidad del grano las principales causas [2].

Tabla 1. Hectáreas sembradas del cultivo de Garbanzo por campaña.

Campaña	Superficie (ha)
2011-2012	8.468
2012-2013	9.935
2013-2014	1.346
2014-2015	2.633

El uso de imágenes de sensores remotos para el mapeo, evaluación y monitoreo de cultivos agrícolas ha estado en constante aumento en los últimos años [5]. Los datos espectrales, en conjunto con el conocimiento del entorno biofísico local y la información del calendario de cultivo, son útiles en la discriminación del tipo de cultivo, detección del estrés en las plantas, entre otros [6]. Los índices de vegetación derivados de la matemática de bandas de imágenes de satélite, aprovechan las características únicas de reflectancia de la vegetación verde. Entre los más conocidos podemos nombrar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual representa la relación entre los valores de reflectancia espectral en la banda roja -absorbida por la clorofila- y los valores en la banda infrarroja cercana -no absorbida y altamente dispersada por la vegetación activa- [7]. En estudios relacionados con la cobertura vegetal del suelo, los parámetros biométricos característicos de las diferentes etapas del ciclo fenológico, pueden ser estimados y analizados a través de una serie de tiempo de NDVI [8]. El tipo de cobertura del suelo es uno de los elementos representados en los mapas, que cambia más rápidamente y no siempre están disponibles y actualizados, por lo cual su monitoreo de forma activa y precisa es importante [9]. Por esto, el mapeo de la cobertura del suelo es una de las aplicaciones más importantes en teledetección, y se han realizado significativas investigaciones para mejorar los métodos de clasificación de las imágenes satelitales [10], [11]. Entre las ventajas de la teledetección respecto a métodos que obtienen datos a campo se encuentran un menor costo, la cobertura de grandes áreas y la posibilidad de repetir la obtención de los datos a lo largo del tiempo, características que le vaticinan un futuro propicio en el ámbito agropecuario [12].

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el cultivo del garbanzo utilizando imágenes satelitales, en particular haciendo uso de índices de vegetación, derivados de imágenes de los satélites Landsat 7 y 8. El análisis se enfocó a la presencia/ausencia del cultivo, duración del ciclo, y manejo del riego.

2 Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio fue realizado en la zona central de la provincia de Córdoba (Localidad de Chalacea, departamento Río Primero cuya ubicación aproximada es 30°S 63°W). Alrededor de este punto central se realizó un recorte de forma rectangular sobre las imágenes a procesar, de aproximadamente 700 kilómetros cuadrados de área. La precipitación anual promedio es de 780 mm, presentándose déficit hídrico prácticamente todo el año excepto en los meses de marzo y abril [13]. La vegetación dominante es el bosque xerófilo, alternando con estepas de gramíneas duras, en el cual se observa un acentuado proceso de desmonte [14]. La fisiografía del área responde a la Pampa loésica alta, con una suave pendiente regional hacia el este. Los suelos son clasificados como Haplustoles énticos y típicos, bien drenados de textura franco limosa [15]. El método de labranza predominante es el de siembra directa. En la tabla 1 se encuentran las cifras de superficie sembrada con garbanzo en las últimas 4 campañas en el departamento Río Primero [4].

Datos de campo

La información a campo para la campaña 2011-2012 correspondía a 7 a lotes a secano (sin riego) de aproximadamente 120 ha cada uno. Para la campaña 2013-2014 se contaba con información de 6 lotes a secano de aproximadamente 120 ha cada uno, y 2 lotes con riego suplementario de 90 ha cada uno. De cada lote se registró el cultivar de garbanzo implantado en las respectivas campañas, área sembrada, cultivo antecesor, fecha de siembra y fecha de cosecha (Fuente Ing. Agr. Mario Scaraffioca Cono S.A). En la Tabla 2 se expone la información detallada.

Tabla 2. Datos del cultivo de Garbanzo por lote y campaña.

Manejo	Lote	Cult. Antecesor	Variedad	Fecha Siembra	Fecha Cosecha
SECANO	1_N	pisingallo	NORTEÑO	26/04/2011	08/11/2011
SECANO	1_S	pisingallo	MEZCLA	26/04/2011	08/11/2011
SECANO	3_C	poroto mung	CHAÑARITOS	09/05/2011	09/11/2011
SECANO	3_N	poroto mung	MEZCLA	11/05/2011	13/11/2011
SECANO	4_N	poroto mung	NORTEÑO	08/05/2011	06/11/2011
SECANO	5_C	poroto mung	NORTEÑO	25/04/2011	12/11/2011
SECANO	5_N	poroto mung	MEZCLA	06/05/2011	08/11/2011
SECANO	5_N	poroto mung	MEZCLA	22/04/2013	15/11/2013
SECANO	5_C	poroto mung	MEZCLA	21/04/2013	15/11/2013
SECANO	4_C	poroto mung	MEZCLA	20/04/2013	15/11/2013
SECANO	3_C	poroto mung	MEZCLA	19/04/2013	13/11/2013
SECANO	3_S	poroto mung	MEZCLA	23/04/2013	14/11/2013
SECANO	1_S	poroto mung	MEZCLA	18/04/2013	07/11/2013
RIEGO	3_P	poroto mung	NORTEÑO	01/06/2013	18/11/2013
RIEGO	4_P	poroto mung	NORTEÑO	20/05/2013	16/11/2013

En lo referente a las características eco fisiológicas del cultivo y su relación con la productividad final, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos: entre las etapas de floración y llenado de vainas ocurre un periodo de acumulación diaria y constante de materia seca-nutrientes, asimismo la tasa de Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) se incrementa y maximiza rápidamente. En este periodo lo ideal es que se haya logrado un Índice de Área Foliar crítico. Luego al iniciarse el periodo de llenado de grano la FBN empieza a disminuir marcadamente (momento de máxima acumulación de nutrientes en planta). Cuando se alcanza la etapa de semilla completamente desarrollada las hojas comienzan a ponerse amarillas, ocurriendo su envejecimiento y caída [16]. En la Figura 1 se muestran imágenes características de las etapas del ciclo del cultivo. Otros factores que también influyen en la respuesta productiva del cultivo son: fecha de siembra, elección del cultivar, densidad de siembra, control de malezas y de plagas, riego, fertilización, aspectos climatológicos, momentos de cosecha,[17]. En el área de estudio [13] evaluaron la respuesta del cultivo a la aplicación de láminas de riego suplementaria en diferentes periodos de ciclo del cultivo y contenido de agua inicial a la siembra, encontrando respuestas diferenciales en la duración total del ciclo.

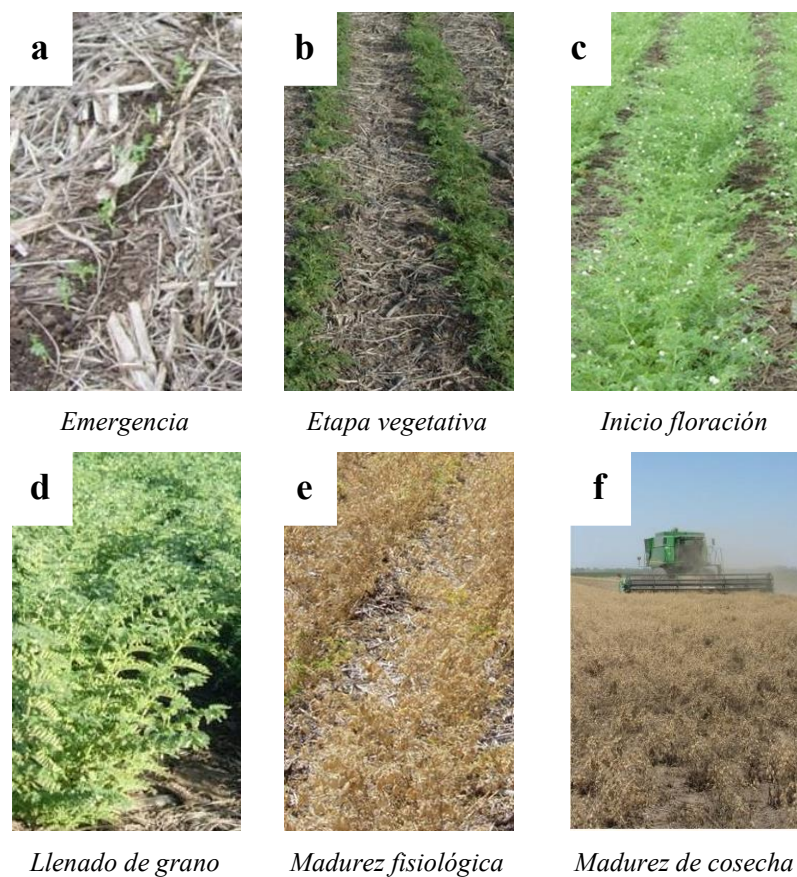


Figura 1. Estadios fisiológicos del cultivo del garbanzo.

Imágenes satelitales y procesamiento

Se utilizaron imágenes satelitales LANDSAT 7 (L7) y LANDSAT 8 (L8), las cuales abarcaban el periodo del ciclo del cultivo. Para el análisis de la campaña 2011-2012 sólo se disponía de imágenes L7, mientras que en la campaña 2013-2014 se utilizaron datos de ambos satélites. Las imágenes fueron descargadas del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos [18]. Las mismas fueron calibradas a reflectancia a tope de la atmósfera, siguiendo lo especificado en [19]. Adicionalmente se realizó el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) para cada fecha en la que se disponía datos del satélite. Haciendo uso de polígonos sobre los lotes de interés, se extrajo el estadístico media del NDVI del cultivo, y se graficó su dinámica en la estación de crecimiento, llamada “firma fenológica” [20]. Posteriormente se realizó un apilado y unión de los productos NDVI, con el fin de realizar clasificaciones no supervisadas con los datos de comportamiento estacional

del NDVI. Las escenas utilizadas corresponden a las fechas y satélites especificados en la Tabla 3.

Tabla 3. Sensor y fecha de adquisición de cada imagen.

Año y Sensor	Día y mes de adquisición									
2011 (L7)	03/04	05/05	25/08	10/09	26/09	12/10	28/10	02/11	29/11	15/12
2013 (L7)	08/04	24/04	10/05	26/05	14/08	30/08	01/10	02/11	18/11	
2013 (L8)	16/04	03/06	06/08	23/09						

El procesamiento de las imágenes se realizó utilizando el software ENVI 4.8. El algoritmo de clasificación no supervisada aplicado fue K-means, el cual encuentra una partición del espacio total, tal que se minimice el cuadrado del error entre la media empírica de una clase y la de los puntos en dicha clase. Como el cuadrado del error siempre decrece con el aumento del número de clases, este puede ser minimizado sólo para un ajustado número de clases [21]. Para la realización del estudio exploratorio de patrones fenológicos según las clases supuestas por el comportamiento estacional del NDVI se varió el número de K clases a introducir en el modelo. Este número varió desde 3 hasta 50. En cada corrida se verificó si se apreciaban los diferentes grupos uniformes dentro de cada unidad de manejo. En todas las pruebas se constató que el cambio de clase no variaba significativamente en los píxeles de interés, a partir de 5 iteraciones.

3 Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestra la dinámica de los valores promedio NDVI para la campaña 2013-2014. Los nodos marcados con un punto (●) representan los lotes a secano, mientras que los nodos representados por una cruz (+) los lotes con riego suplementario. En la misma se puede diferenciar los dos grandes patrones fenológicos, correspondientes a los lotes en secano y con riego. Este comportamiento del índice ratifica el hecho de que la disponibilidad de agua ejerce un control muy significativo en la duración de las etapas fenológicas del garbanzo, cuando se satisface la demanda del cultivo se obtiene la mayor duración del ciclo [12]. En particular, entre los lotes bajo riego suplementario, las imágenes permiten reconocer la diferencia temporal de 10 días en la implantación del cultivo (Tabla 2). Esto se reconoce en un corrimiento a la derecha en el ciclo fenológico (Lotes **3_P** y **4_P**).

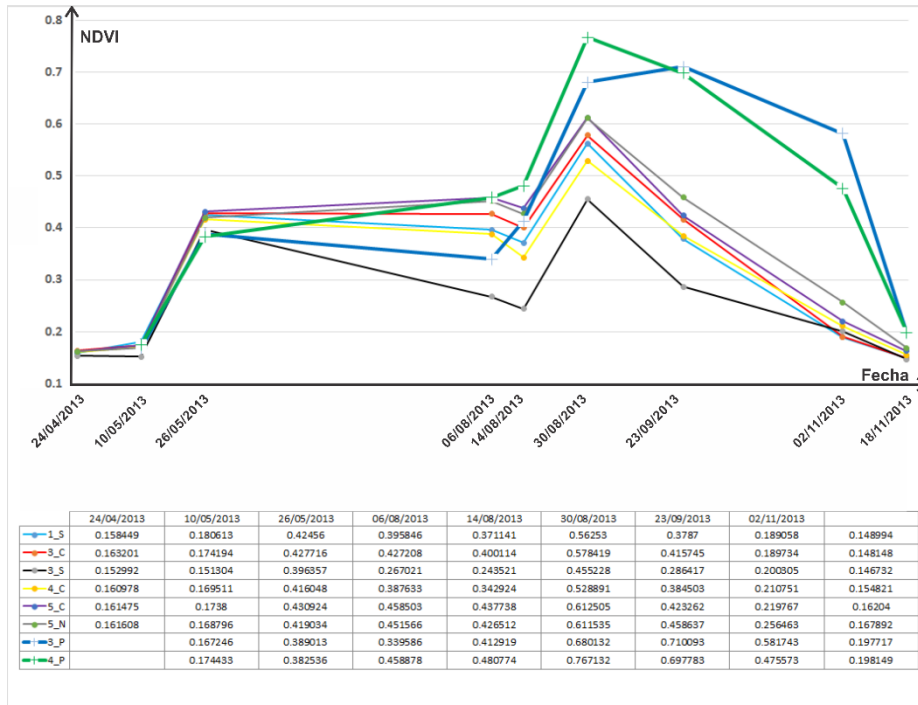


Figura2. Firmas fenológicas y respectivos valores promedio de NDVI de cada lote para la campaña 2013-2014.

En la imagen fechada el 14 de agosto, se advierte una reducción en el valor del NDVI para los lotes en condición de secano, probablemente esta situación refleje un estrés hídrico; vinculándose al hecho de que en ambientes en donde las precipitaciones son escasas, una temprana colonización inicial de las raíces en el perfil del suelo, puede provocar un mayor consumo de agua en estados iniciales del ciclo y provocar una deficiencia hacia etapas más avanzadas [22]. Algunos autores, [23] manifiestan que condiciones de estrés hídrico durante la estación de crecimiento producen una posterior disminución en la eficiencia fotosintética. En contraste los lotes bajo riego muestran un incremento constante del valor del índice durante el mismo periodo. Como afirman en [6] cuando se parte con mayor disponibilidad hídrica del suelo al momento de la siembra, se favorece la rápida generación del canopeo. No obstante una adecuada recarga del perfil a la siembra no garantiza altas producciones de biomasa si no ocurren precipitaciones o riegos que permitan sostener altos niveles de intercepción de luz durante las etapas finales del cultivo.

Al examinar las curvas estacionales de NDVI realizadas para los lotes de la campaña 2013-2014 en el presente trabajo se observa que concuerdan con las curvas de evolución de intercepción de radiación elaboradas por [13] para lotes de garbanzo con suministro de agua a demanda y lotes sin riego. En relación a esto último cabe mencionar que una característica diferencia del cultivo del garbanzo es su pobre capacidad para explorar y absorber agua de capas profundas del suelo, debido probablemente a la baja densidad de raíces en profundidad, comparado con otras legumbres [24].

Cuando se analiza la dinámica del NDVI para los lotes a secano de la campaña 2011-2012 (Figura 3), se observa que los 7 lotes alcanzan su máximo valor en la imagen del 25 de agosto. A partir de esta fecha el valor del índice en cada lote experimenta una disminución más o menos uniforme hasta la finalización del ciclo del cultivo. En la mencionada fecha el cultivo se encontraba en inicio de sus estadios reproductivos, específicamente en floración completa (Figura 1d). Este comportamiento se corresponde con el identificado por [16] y [25] para el cultivo de soja, una leguminosa de comportamiento similar.

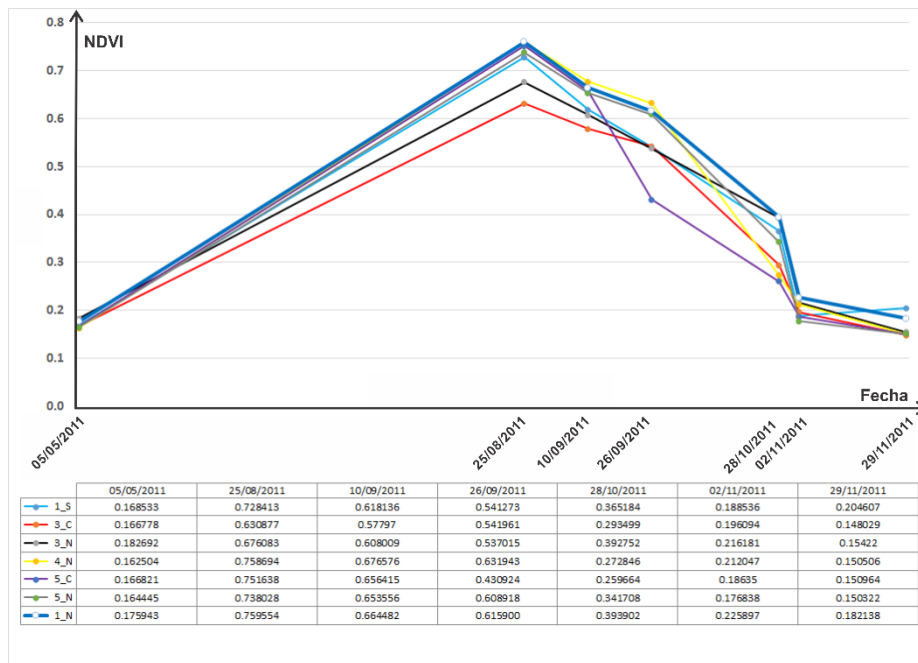


Figura 3. Firmas fenológicas y respectivos valores promedio de NDVI de cada lote para la campaña 2011-2012.

Los valores promedio de NDVI para cada escena, su respectiva campaña y condición de manejo están representados en la Figura 4, adicionalmente se adjunta su correspondiente error estándar. Al analizar las firmas de la campaña 2013-2014 podemos apreciar manifestamente que los mayores valores corresponden a los lotes bajo riego, manifestándose en un periodo fotosintéticamente activo de mayor duración. Estas dos características permiten una clara discriminación entre las dos condiciones de manejo (secano – bajo riego). Por otro lado, si se compara sólo los lotes a secano de ambas campañas, en los correspondientes a 2011-2012 se observan valores de NDVI más altos y un ciclo de cultivo más extendido en comparación a la campaña 2013-2014. Esta última campaña fue asociada a condiciones de escaso perfil de humedad en los suelos al momento de realizar la labor de siembra, condición que no se

revirtió en los meses posteriores. Durante el desarrollo del cultivo la precipitación acumulada fue inferior a 150mm [26] mientras que para la campaña 2011-2012 fue de aproximadamente 200mm [4]. También sobresale en esta campaña mayores valores de error estándar en el promedio del índice para cada escena, inclusive en los lotes bajo riego, en parte probablemente reflejando lo agreste de la mencionada campaña agrícola.

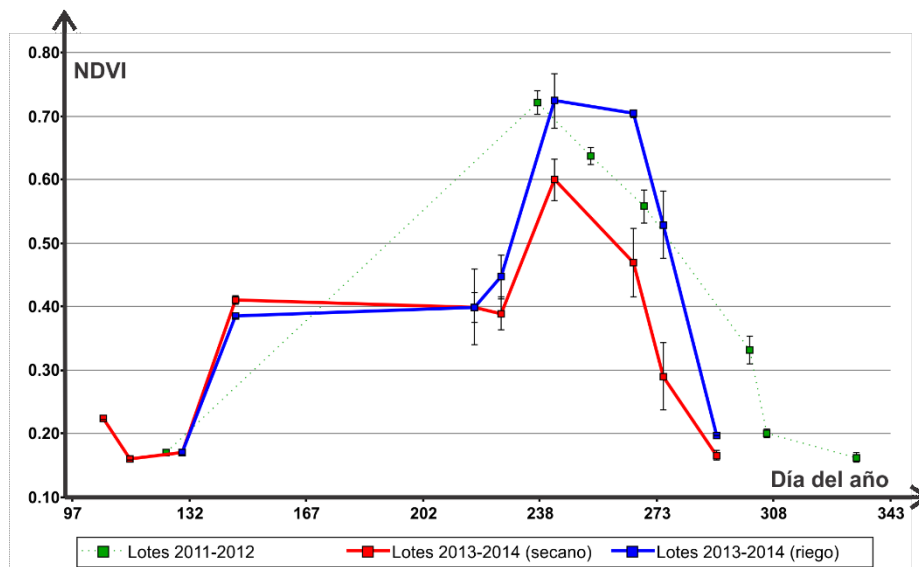


Figura 4. Firmas fenológicas de los valores medios de NDVI y su correspondiente error estándar para los lotes en estudio, considerando año y manejo “riego”, en función del día del año¹.

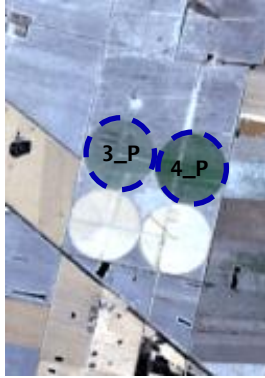
Clasificación no supervisada

En el tratamiento de la serie NDVI del área de estudio para 2013-2014, con el algoritmo K-means, se propuso un número de clases en el que fuera posible diferenciar los 2 patrones encontrados en el análisis de las firmas fenológicas de NDVI (con y sin riego).

Los resultados de clasificar de forma no supervisada con distintos números predefinidos de clases fueron evaluados y contrastados con la verdad de terreno. En la Figura 5 se expone un recorte de los lotes bajo estudio para la campaña 2013-2014 (A). En las imágenes B, C y D se exhibe el resultado de la clasificación considerando tres distintos números de clases (12, 13 y 14 respectivamente).

¹Se utilizó el formato día del año, ya que los años 2011 y 2013 coinciden en el número total de días.

A

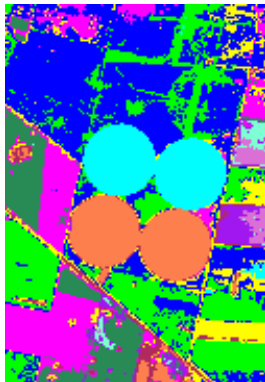


Lotes con riego (06/08/13) —

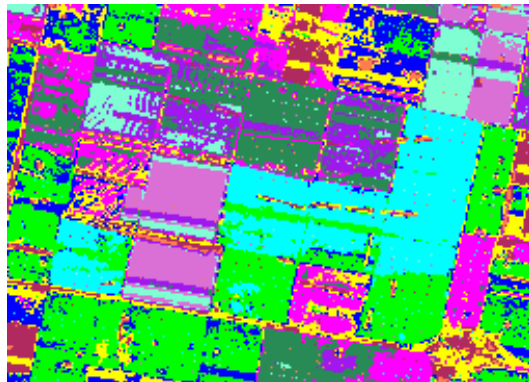


Lotes de secano (06/08/13) —

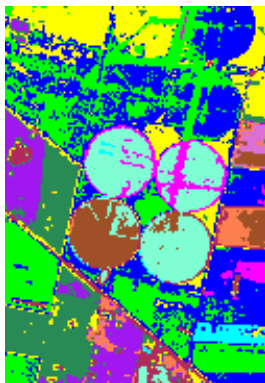
B



Clasificación no supervisada 12 clases (NDVI estacional).



C



Clasificación no supervisada 13 clases (NDVI estacional).

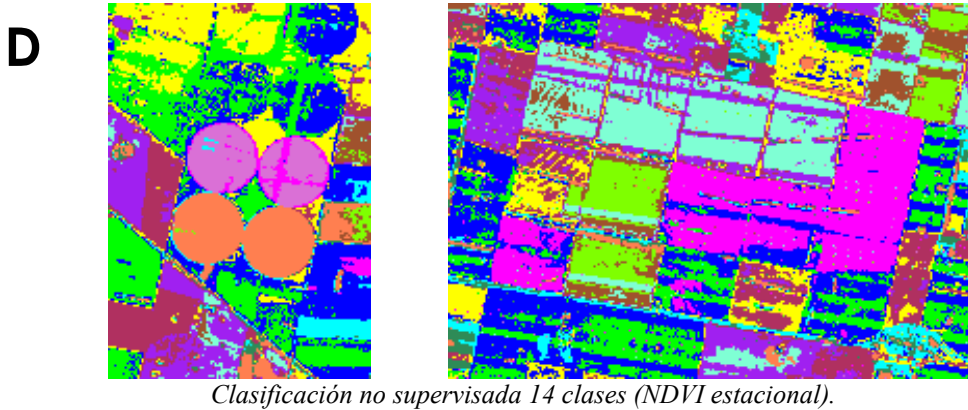


Figura 5. Lotes bajo estudio (campaña 2013) y correspondientes salidas de clasificación no supervisada.

Es importante apreciar que los lotes cultivados con garbanzo pueden ser diferenciados de sus colindantes en una clasificación de las imágenes Landsat con sólo un número de clases igual a 12 y al aumentar éste en una unidad ya se diferencian los lotes con y sin riego. No obstante, en la imagen C se observa que la clasificación incluye áreas vecinas que no corresponden al cultivo garbanzo, por lo cual se realizó el aumento a 14 clases. Finalmente, la clasificación no supervisada con el mayor número de clases propuestas, permite afirmar que se puede distinguir concluyentemente las clases “Garbanzo bajo riego” y “Garbanzo seco”. Estos resultados respaldan la utilidad e importancia de la teledetección en actividades agrícolas. Proporcionando información oportuna, completa, objetiva, transparente, precisa y no sesgada, que en un futuro puede ayudar a evitar la especulación excesiva del mercado y la consiguiente alza de precios [27].

Al analizar los resultados para la clase “Garbanzo seco”, se observa alguna heterogeneidad entre los lotes, fundamentalmente en el “L_3_S”. Esta disimilitud también se veía reflejada en su curva de fenológica, la cual se encontraba apartada de las restantes. En [28] se afirman que la presencia de cultivos en diferentes etapas fenológicas junto con el proceso de medición del sensor, puede implicar mayor grado de dispersión dentro las clases, lo cual podría estar asociado, entre otros, a la heterogeneidad de los suelos y la variación en las fechas de siembra.

4 Conclusiones

Este trabajo permite concluir que usando imágenes satelitales es posible diferenciar lotes dedicados al cultivo de garbanzo con riego y sin riego, por medio de la visualización de la evolución del NDVI para totalidad del ciclo de cultivo. Adicionalmente con estos patrones se puede reconocer la diferencia en la fecha de siembra de los lotes con riego suplementario. En lo que respecta a la ecofisiología del cultivo, la maximización en la asimilación de materia seca y FBN que se socia a la etapa de floración del cultivo, pudo ser detectada por medio de los picos presentes en el valor de NDVI entre los meses de agosto y septiembre.

En lo relativo a la discriminación del cultivo, un modelo de clasificación no supervisada, con los valores de NDVI de todo el ciclo del cultivo y un mínimo de 14 clases, permite diferenciar las áreas de presencia del garbanzo, bajo las modalidades de manejo del riego.

Este trabajo pretendió finalmente demostrar que la aplicación de información satelital se constituye en un instrumento efectivo para evaluar el comportamiento del cultivo del garbanzo, del cual aún no se encuentra abundante bibliografía, y así contribuir en la toma de mejores decisiones por parte de investigadores, técnicos, productores agropecuarios y agentes gubernamentales.

Agradecimientos:

Los autores agradecen a la empresa Cono S.A y en especial al Ingeniero Agrónomo Mario Scaraffioca por brindarnos la base de datos que se utilizó en este trabajo. Un especial reconocimiento a los docentes investigadores; Julia Carreras por su asesoramiento relativo al cultivo de garbanzo y Mónica Bocco por su orientación en el análisis de datos derivados del sensoramiento remoto.

Referencias

- [1] M. J. Martínez, C. Marioli, M. Silva, R. Aguilar, R. Badini, M. Inga, M. Fili, and M. J. Allende, “Calidad de grano, valor nutricional y recetas,” in *El cultivo de garbanzo en argentina*, 2016, p. 439.
- [2] E. R. Toledo, “Ecofisiología de garbanzo,” in *El cultivo de garbanzo en argentina*, 2016, p. 89.
- [3] J. Saluzzo, “Adaptación del cultivo de garbanzo en función de la variabilidad ambiental,” *III Jornada Nacional de Garbanzo*. Instituto nacional de tecnología agropecuaria, pp. 1–9, 2010.
- [4] “Bolsa de cereales de Córdoba.” [Online]. Available: <http://www.bccba.com.ar/>. [Accessed: 15-Apr-2016].
- [5] A. Apan, R. Kelly, T. Jensen, D. Butler, W. Strong, and B. Basnet, “Spectral discrimination and separability analysis of agricultural crops and soil attributes using aster imagery,” *11th Australas. Remote Sens. Photogramm. Conf.*, vol. 2, pp. 396–411, 2002.
- [6] E. A. Cloutis, D. R. Connery, and F. J. Dover, “Agricultural crop monitoring using airborne multi-spectral imagery and C-band synthetic aperture radar,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 20, no. 4, pp. 767–787, 1999.
- [7] A. Huete, G. Ponce-Campos, Y. Zhang, N. Restrepo-Coupe, X. Ma, and M. S. Moran, “Monitoring Photosynthesis from Space,” in *Land resources monitoring, modeling, and mapping with remote sensing*, vol. II, P. S. Thenkabail, Ed. CRC Press, 2016, pp. 5–6.
- [8] P. Vázquez, E. Adema, and B. Fernández, “NDVI de largo plazo en la provincia de La Pampa,” *Ecol. Austral*, vol. 23, pp. 77–86, 2013.
- [9] G. M. Foody, “Status of land cover classification accuracy assessment,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 80, pp. 185–201, 2002.
- [10] B. D. Wardlow and S. L. Egbert, “Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data : An assessment for the U . S . Central Great Plains,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, pp. 1096–1116, 2008.
- [11] S. J. S. Lu, D., Batistella, M., Li, G., Moran, E., Hetrick, S., Freitas, C. D. C., ... & Sant’Anna, “Land use/cover classification in the Brazilian Amazon using satellite images,” *Pesqui. Agropecuária Bras.*, vol. 47, no. 9, pp. 1185–1208, 2012.
- [12] D. J. Mulla, “Special Issue : Sensing in Agriculture Review Twenty five years of remote sensing in precision agriculture : Key advances and remaining knowledge gaps 5,” *Biosyst. Eng.*, vol. 114, no. 4, pp. 358–371, 2012.
- [13] A. Tula, E. D. Mortcheff, S. Luque, and M. Cantarero, “Estrategias de riego en el cultivo de garbanzo: eficiencia de captura y uso de la ra-diación y agua, producción de biomasa y rendimiento,” in *El cultivo de garbanzo en argentina*, 2016, pp. 505–522.
- [14] C. G. Daza, *Zonas Agroeconómicas Homogéneas Córdoba*. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA, 2009.
- [15] J. A. Gorgas, J. L. Tassile, B. Jarsún, E. Zamora, H. Bosnero, E. Lovera, and A. Ravelo, *Recursos naturales de la provincia de Córdoba, los suelos: nivel de reconocimiento escala 1: 500.000*. Agencia Córdoba DAC y TSEM Dirección Ambiente y Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA-Manfredi, 2003.
- [16] F. Kurdali, “Nitrogen and phosphorus assimilation , mobilization and partitioning in rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L .),” *F. Crop. Res.*, vol. 47, pp. 81–92, 1996.
- [17] J. Reginatto, M. Toscano, R. Castro, and J. J. Carreras, “Producción de semilla de garbanzo,” in *El cultivo de garbanzo en argentina*, 2016, pp. 271–292.
- [18] USGS, “EarthExplorer.” [Online]. Available: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. [Accessed: 10-Feb-2016].
- [19] G. Chander, B. L. Markham, D. L. Helder, and E.- Ali, “Remote Sensing of

- Environment Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 113, no. 5, pp. 893–903, 2009.
- [20] M. A. T. Exeira, M. A. O. Yarzabal, G. E. P. Ineiro, and S. A. B. Aeza, “Land cover and precipitation controls over long-term trends in carbon gains in the grassland biome of South America,” *Ecosphere*, vol. 6, no. 10, pp. 1–21, 2015.
- [21] A. K. Jain, “Data clustering: 50 years beyond K-means,” *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 31, no. 8, pp. 651–666, 2010.
- [22] V. Vadez, A. Soltani, and T. R. Sinclair, “Field Crops Research Modelling possible benefits of root related traits to enhance terminal drought adaptation of chickpea,” *F. Crop. Res.*, vol. 137, pp. 108–115, 2012.
- [23] A. Soltani, K. Ghassemi-Golezani, F. R. Khoie, and M. Moghaddam, “A simple model for chickpea growth and yield,” *F. Crop. Res.*, vol. 62, no. 2, pp. 213–224, 1999.
- [24] L. Krishnamurthy, C. Johansen, and O. Ito, “Genotypic Variation in Root System Development and Its Implications for Drought Resistance in Chickpea,” in *Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics*, 1996, pp. 234–250.
- [25] R. Toledo, “Ecofisiología y manejo del cultivo de soja.”
- [26] “Informe especial nº 66. Garbanzo: Inicio de campaña 2014/2015 y Final 2013/2014.,” 2014.
- [27] R. Naylor, “Expanding the boundaries of agricultural development,” *Food Secur.*, vol. 3, no. 2, pp. 233–251, 2011.
- [28] J. Garcia-Consuegra, G. Cisneros, and A. Martinez, “Establishing Spatially Continuous Patterns in a Non-Supervised Way,” in *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1999, pp. 726–728.