

## Caracterización del ciclo del cultivo de trigo en la provincia de Córdoba mediante teledetección

Miguel Nolasco<sup>1,2</sup>, María de los Ángeles Martínez, y Mónica Bocco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Agropecuarias, Córdoba (Argentina).

<sup>2</sup>Comisión Nacional de Actividades Espaciales - Universidad Nacional de Córdoba, Instituto Mario Gulich, Córdoba (Argentina).  
[mnolasco@agro.unc.edu.ar](mailto:mnolasco@agro.unc.edu.ar)

**Resumen.** La provincia de Córdoba en Argentina es el tercer productor nacional de trigo, con una superficie sembrada de 932.000 hectáreas para la campaña invernal 2022. Además de ser importante en términos de producción y réditos económicos, el trigo es fundamental para la seguridad alimentaria de la región, siendo un alimento básico para muchas personas en Argentina y otros países. Una de las formas de monitorear y estimar la producción del cultivo, a gran escala y de forma práctica, es mediante la teledetección. La intensidad del pico de NDVI, que se corresponde con la etapa reproductiva del cultivo, tiene una fuerte relación con los rendimientos finales. Sin embargo, la variabilidad climática dificulta la estimación de rendimientos, ya que condiciona diferentes tiempos de desarrollo del cultivo. El objetivo de este trabajo es caracterizar el ciclo de cultivo del trigo en la provincia de Córdoba, utilizando datos de referencia de 5 departamentos de importancia agrícola y series temporales del NDVI. Se ajustó una curva NDVI de cada lote para determinar el momento del pico e intensidad. La información recopilada contribuye al desarrollo de mejores modelos de estimación y, por lo tanto, facilitan el seguimiento y manejo de los cultivos de trigo en la región.

**Palabras clave:** MODIS, NDVI, Córdoba, trigo, serie temporal.

### 1 Introducción

La provincia de Córdoba en Argentina es el tercer productor nacional de trigo, con una superficie sembrada de 932.000 hectáreas para la campaña invernal 2022 [1]. La producción se concentra en los departamentos de las regiones centro, sur y este de la provincia. Los cultivares más importantes en superficie son Algarrobo, Ceibo y Baguette 620 [2]. Para la campaña agrícola invernal 2022, en la provincia de Córdoba, se produjeron unas 1.044.000 toneladas de trigo pan [3].

Además de su importancia en términos de producción y réditos económicos, el trigo es un cultivo fundamental para la seguridad alimentaria de la región. Es un alimento básico para muchas personas en Argentina y otros países, y su producción como disponibilidad tienen un impacto directo en los precios y el acceso a los alimentos de la población [4]. Asimismo, la incorporación del cultivo de trigo en la rotación de cultivos

es beneficioso para conservar el recurso suelo, reducir el uso de fertilizantes químicos y limitar la incidencia de malezas [5-6].

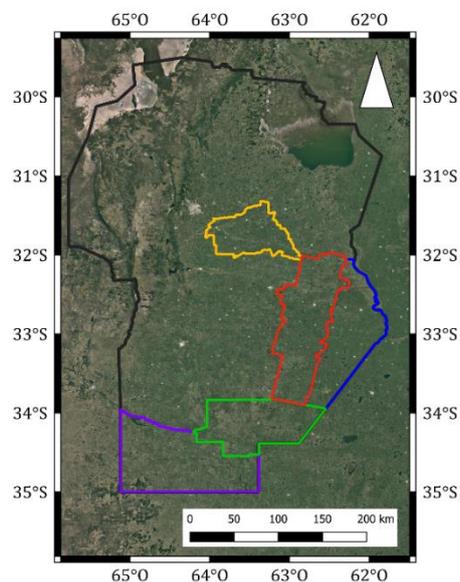
Una de las formas de monitorear y estimar la producción del cultivo de trigo, a gran escala y de forma práctica, es mediante la teledetección. En este sentido la serie temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de MODIS es una herramienta valiosa. En primer lugar, su alta resolución temporal permite realizar un seguimiento del cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento, lo que permite detectar cambios en la vegetación, descubrir patrones y tendencias en la productividad del cultivo [7-9]. En segundo lugar, esta serie puede proporcionar información precisa sobre el momento de ocurrencia de la etapa de floración en el cultivo de trigo. Esto es importante porque la intensidad del NDVI en la etapa de floración, que se corresponde con el período crítico del cultivo, tiene una fuerte relación con los rendimientos finales [10, 11, 9]. Sin embargo, la variabilidad climática dificulta la estimación de rendimientos, ya que condiciona diferentes tiempos de desarrollo del cultivo [12].

El objetivo de este trabajo es caracterizar el ciclo de cultivo del trigo en la provincia de Córdoba, utilizando datos de referencia de 5 departamentos de importancia agrícola y series temporales del NDVI de MODIS.

## **2 Materiales y Métodos**

### **2.1 Área de estudio**

El área de estudio abarca la región centro, sur, y este de la provincia de Córdoba, Argentina. Incluye cinco departamentos: General Roca, Marcos Juárez, Pte. Roque Sáenz Peña, Río Segundo y Unión (Fig. 1). Las condiciones ambientales propicias de esta región contribuyen al desarrollo agrícola. Los suelos predominantes son Haplustoles y Argiustoles, en general son suelos profundos y bien drenados con una textura franco arenosa fina [13]. El clima se clasifica como templado, con una temperatura promedio en verano de aproximadamente 23.5°C y una temperatura promedio en invierno de alrededor de 8°C. La precipitación promedio anual es de aproximadamente 800 mm, concentrada en primavera y verano [14-16]. La producción agrícola, debido a las condiciones de suelo y clima, particularmente a la distribución de lluvias, incluye al trigo como cereal de invierno, y a la soja y al maíz como cultivos de verano.



**Fig. 1.** Ubicación geográfica de los departamentos Gral. Roca (violeta), Marcos Juárez (azul), Pde. Roque Sáenz Peña (verde), Río Segundo (amarillo) y Unión (rojo) en la provincia de Córdoba (negro).

## 2.2 Datos de referencia terreno

La agricultura en el área de estudio se basa generalmente en sistemas de siembra directa, una práctica reconocida para la conservación del suelo y el agua. El trigo se siembra en hileras con un espaciamiento entre 0.17 y 0.21 m, la fertilización se realiza antes de la siembra y durante la mitad de la temporada [17], con una temporada de crecimiento desde mayo-junio (siembra) hasta octubre-noviembre (cosecha).

Los datos de campo fueron adquiridos desde el 01/05/2015 hasta el 30/04/2018. Solo se consideraron parcelas con un tamaño mayor a 50 ha (para ajustarlas a la resolución del sensor MODIS), y el tamaño promedio de las parcelas fue de 105 ha. Para cada fecha de muestreo y parcela, se recopilaban datos del tipo de cobertura o cultivo de invierno. La Tabla 1 muestra el número de parcelas con cobertura de rastrojo y con cultivo de trigo, registradas por campaña invernal en la provincia de Córdoba.

*Tabla 1. Número de lotes muestreados con cobertura de rastrojo y trigo por campaña agrícola invernal.*

Campaña agrícola invernal	Tipo de cobertura/cultivo	
	RASTROJO	TRIGO
2015	197	168
2016	240	210
2017	221	141

### 2.3 Datos satelitales

El sensor MODIS, presente en los satélites Aqua y Terra, cuenta con una frecuencia de revisita diaria, lo que permite la captura de imágenes prácticamente continuas de todo el planeta desde el año 2000. En este estudio, se utilizó el producto MOD13Q1 V6 (Índices de Vegetación MODIS/TERRA L3) desde enero de 2015 hasta diciembre de 2018. Este producto proporciona datos del NDVI derivados de imágenes espaciales sin nubes, con una resolución espacial de 250 metros, calculados a partir del mejor valor de pixel disponible para un periodo de cobertura de 16 días [18].

Para cada parcela, se obtuvieron un total de 23 valores de NDVI, el valor de día del año y confiabilidad del píxel (Confiabilidad de calidad del píxel de índice de vegetación) para el píxel central de cada lote, a partir de la plataforma web Google Earth Engine [19].

### 2.4 Phenofit

La estimación del momento de ocurrencia del pico del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) durante el ciclo de crecimiento del cultivo trigo se llevó a cabo utilizando Phenofit [20]. Este software, que es de acceso libre y está desarrollado en el lenguaje de programación R, es capaz de extraer diversas métricas que describen las variaciones estacionales del NDVI, las cuales están estrechamente relacionadas con la fenología de la vegetación, incluyendo el inicio de la temporada de crecimiento, el pico y el final del desarrollo [21].

Phenofit proporciona diversos métodos para ajustar las series temporales de NDVI. En este estudio, se empleó el método Beck [22], el cual utiliza una función logística doble para ajustar la curva fenológica del cultivo. Este método ha demostrado un mejor desempeño en el modelado de temporadas de crecimiento cortas, evitando la sobreestimación de la duración del ciclo de crecimiento [23, 24]. Estas características del método son importantes para los cultivos que presentan una etapa de crecimiento temporalmente estrecha con cambios rápidos en el vigor, relacionados con periodos de emergencia, verdor, marchitez y cosecha. En este estudio, se calculó la métrica del pico de la temporada, relacionada con la etapa reproductiva del cultivo, de acuerdo con el procedimiento propuesto por [23]. La determinación de este valor permite posteriormente realizar estimaciones del rendimiento final del cultivo de trigo.

### 2.5 Estadística descriptiva

Una vez calculada la métrica del pico de la temporada, se llevó a cabo un proceso de filtrado de los datos, el cual se desarrolló en dos etapas. En primer lugar, se eliminaron los registros en los cuales el software Phenofit no pudo ajustar adecuadamente la curva de crecimiento del cultivo de trigo. En segundo lugar, se seleccionaron las parcelas en las que el momento del pico de verdor fue detectado antes de diciembre. Esta selección se debió a que, en la zona de estudio, la etapa fenológica reproductiva del cultivo de trigo ocurre antes del mes de diciembre para los distintos cultivares que se siembran [25].

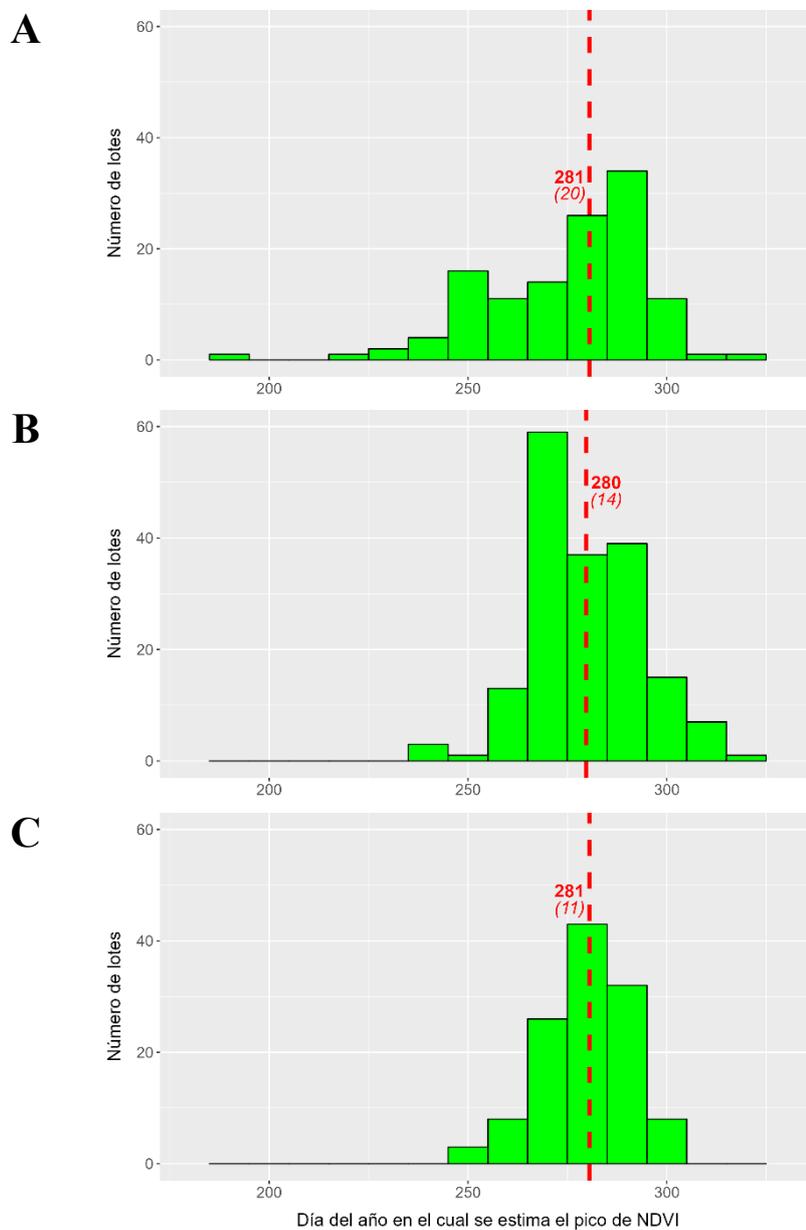
Con el conjunto final de datos, se generaron histogramas de frecuencias absolutas para describir el momento del pico de NDVI en las diferentes parcelas analizadas en cada campaña agrícola invernal. Para cada histograma, se calculó el valor promedio y la desviación estándar. Asimismo, para los lotes analizados, se determinó el valor máximo de NDVI alcanzado por el cultivo de trigo en la temporada de crecimiento. Con estos valores, se generaron histogramas de frecuencia absoluta y se calculó el valor promedio y el percentil 10 correspondiente.

Además, se compararon estos resultados con el máximo valor de NDVI alcanzado por las parcelas sin cultivo invernal implantado, es decir, las parcelas con cobertura de rastrojo. Para este conjunto de datos, se generaron histogramas de frecuencia absoluta por campaña agrícola invernal y se calculó el valor promedio y el percentil 90. El análisis estadístico se realizó mediante el software R [26].

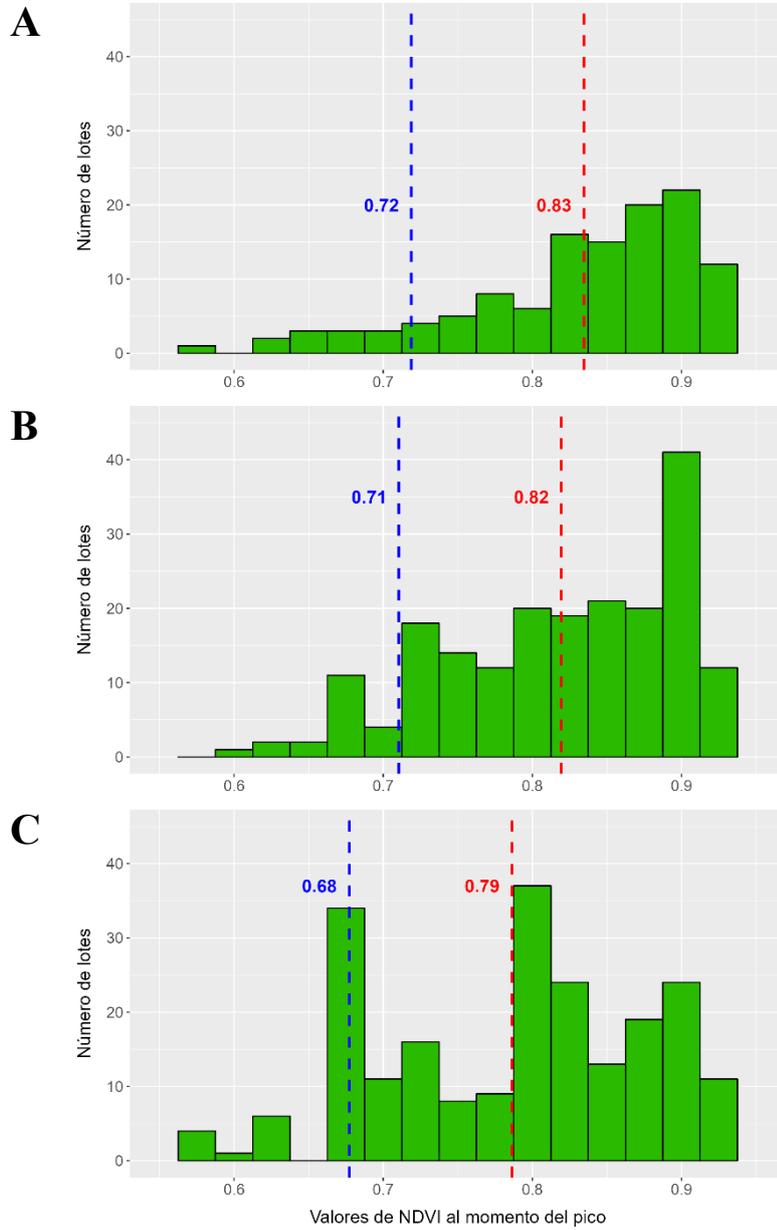
### 3 Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestran los histogramas de los valores estimados del día del año de ocurrencia del pico de NDVI en los lotes cultivados con trigo para las campañas agrícolas invernales de 2015, 2016 y 2017. Se observa que, para las tres campañas analizadas, el pico de NDVI se alcanza en promedio en la primera quincena del mes de octubre, con una desviación estándar que oscila entre 11 y 20 días. La menor dispersión en los valores se evidencia en la campaña invernal de 2017, mientras que la mayor dispersión se presenta en la campaña invernal de 2015.

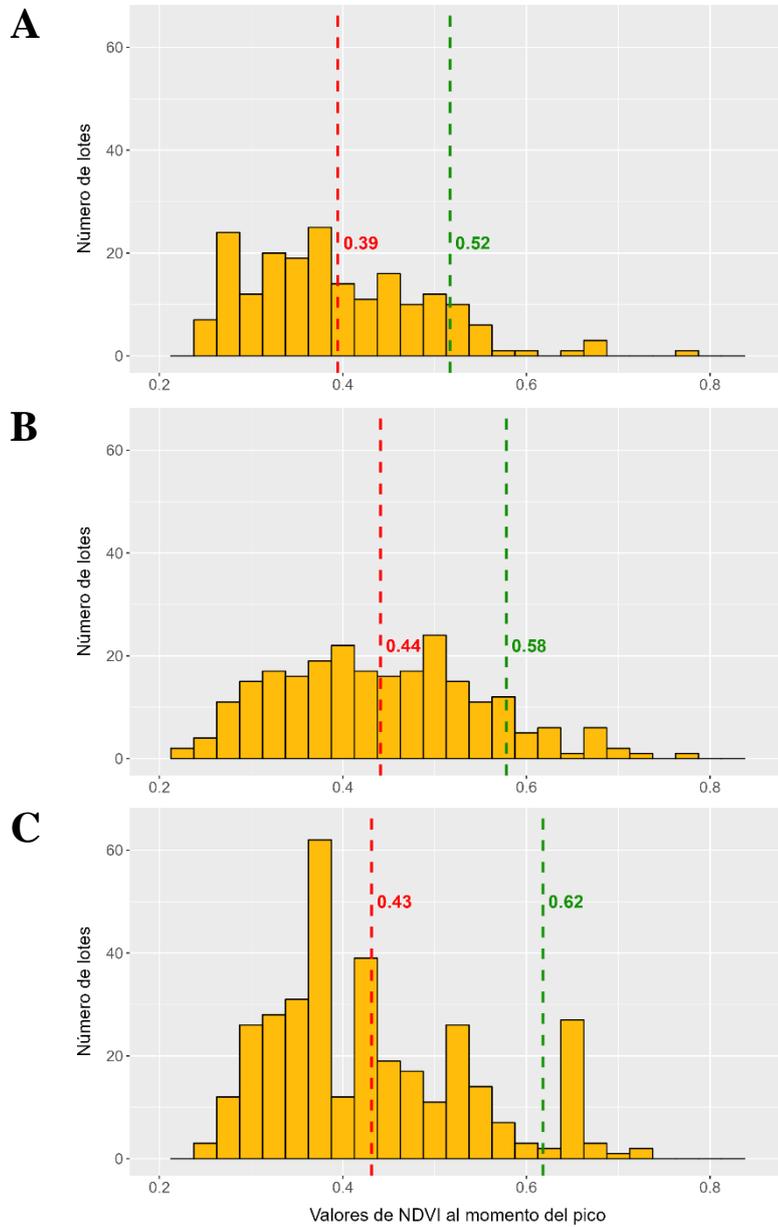
En la Figura 3 se muestran los histogramas de los valores de máximo NDVI en los lotes con cultivo de trigo durante las campañas agrícolas invernales 2015, 2016 y 2017. Se puede observar que el valor promedio del máximo NDVI que alcanzan estos lotes es de aproximadamente 0,8. Asimismo, en las tres campañas analizadas, el 90% de los lotes presenta un valor de NDVI superior a 0,68. Por otro lado, en la Figura 4 se presentan los histogramas de los valores de máximo NDVI de los lotes con cobertura de rastrojo durante las mencionadas campañas invernales. En este caso, se puede observar que el valor promedio de máximo NDVI es de alrededor de 0,4. Además, en estas campañas y en estos lotes, el 90% de ellos presenta valores de NDVI inferiores a 0,62. En la zona de estudio, se puede apreciar que el valor promedio del máximo NDVI en los lotes con cultivo de trigo es el doble del valor promedio máximo alcanzado en los lotes con cobertura de rastrojo (0,8 vs 0,4). Si se desea distinguir entre ambas clases de cobertura, el valor umbral de 0,65 separa más del 90% de los lotes de cada clase. El valor umbral mencionado tiene una aplicación directa para discernir de manera ágil la presencia o ausencia de cultivos de trigo, mediante el análisis de imágenes espectrales de la correspondiente campaña.



**Fig. 2.** Histogramas de frecuencia absoluta de valores de día del año (DOY) para el cual se estima ocurrencia del pico de NDVI, para lotes de trigo de la provincia de Córdoba campaña agrícola invernal 2015 (A), 2016 (B) y 2017 (C). Línea punteada y texto en color rojo indican valor promedio y desvío estándar (en *itálica*). Se corresponden con los días 8 de octubre, 6 de octubre y 8 de octubre respectivamente.



**Fig. 3.** Histogramas de frecuencia absoluta de valores de NDVI al momento del pico, para lotes de trigo de la provincia de Córdoba campaña agrícola invernal 2015 (A), 2016 (B) y 2017 (C). Línea punteada y texto en color rojo indican valor promedio. Línea punteada y texto en color azul indican el percentil 10.



**Fig. 4.** Histogramas de frecuencia absoluta de valores de máximo NDVI, para lotes con cobertura de rastrojo en la provincia de Córdoba campaña agrícola invernal 2015 (A), 2016 (B) y 2017 (C). Línea punteada y texto en color rojo indican valor promedio. Línea punteada y texto en color verde indican el percentil 90.

Según los informes técnicos emitidos por la Bolsa de Cereales de Córdoba (BCC) [27-30] para el área de estudio, se observó que en las campañas invernales 2015 y 2016 las condiciones climáticas fueron favorables para el cultivo de trigo. La precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo superó el promedio histórico y los cultivos pudieron satisfacer sus necesidades hídricas. En la campaña invernal de 2016, el 80% de los lotes de trigo tuvieron su período crítico (intervalo de 20 días antes a 10 días después de la floración) en octubre, mientras que el 20% restante lo tuvo en noviembre. En contraste, en la campaña invernal de 2017 la precipitación acumulada fue inferior a la de las campañas anteriores. Además, se registraron heladas en la etapa pre-macollaje, que es una fase sensible al daño por frío, lo que afectó el crecimiento y el desarrollo posterior del cultivo. En esta última campaña, el 100% de los lotes de trigo tuvieron su período crítico en octubre.

Se observa que los resultados obtenidos en este estudio son coherentes con los informes técnicos de la BCC en sus salidas a campo. Para las tres campañas analizadas, se estimó que la etapa de floración se concentra en la primera quincena de octubre, y se observa una menor dispersión en la campaña invernal de 2017, lo cual coincide con los registros de la BCC. Las condiciones ambientales menos favorables para el cultivo de trigo observadas en esta última campaña se corresponden con una mayor dispersión de los valores de máximo NDVI y un menor valor promedio.

La capacidad de estimar con precisión el momento de la floración en el cultivo de trigo es crucial para los modelos de rendimiento. Si bien los datos satelitales son empleados para estimar la fenología de los cultivos, es importante tener en cuenta que pueden ser influenciados por distintos factores, tales como el ruido atmosférico, la presencia de nubes y la mezcla de píxeles [31]. Además, en las últimas décadas se ha observado un cambio en las fechas de las etapas fenológicas debido al calentamiento global [8]. Por lo tanto, es esencial evaluar la capacidad de los métodos de teledetección para estimar las etapas fenológicas de los cultivos en cada región. En la provincia de Córdoba, la estimación de la ocurrencia del pico de NDVI en el cultivo de trigo utilizando una función logística doble ha producido resultados que coinciden con los registros de campo. En cuanto a los datos satelitales disponibles, se puede afirmar, de forma semejante a [7-9, 32], que el producto NDVI de MODIS con una resolución temporal de 16 días es suficiente para alcanzar alta precisión en el monitoreo del ciclo del cultivo de trigo.

## Conclusiones

En la provincia de Córdoba el cultivo de trigo es muy importante en términos de superficie sembrada, producción y seguridad alimentaria. Poder monitorear su ciclo, y estimar el rendimiento final es clave para la seguridad alimentaria de la región. En este trabajo se caracterizó el ciclo de crecimiento del cultivo de trigo en la provincia de Córdoba, mediante el análisis de su serie temporal de NDVI, y cálculo del momento de ocurrencia del pico de NDVI y su intensidad.

Los resultados presentados en este estudio muestran que la serie de NDVI de MODIS son datos útiles para la estimación del pico de NDVI del cultivo de trigo en la provincia de Córdoba. Los mismos muestran una tendencia consistente en la detección del pico de NDVI en la primera quincena de octubre, lo cual fue validado con los registros de la fenología del cultivo que se realizaron en el área de estudio. Además, los resultados ratifican que los lotes con cultivo de trigo presentan valores de máximo NDVI significativamente mayores que los lotes con cobertura de rastrojo. Este resultado obtenido es de gran relevancia, ya que permitiría distinguir de forma simple ambas clases de cobertura y detectar la presencia de cultivos de trigo en la zona de estudio. La información recopilada, la validación del modelo aplicado y los resultados obtenidos contribuyen al desarrollo de mejores modelos de estimación de rendimientos y, por lo tanto, facilitan el seguimiento y manejo de los cultivos de trigo en la región.

## Agradecimientos

A Secyt – UNC por el apoyo financiero brindado para la realización de este trabajo.

## Referencias

1. Sistema de Información Simplificado Agrícola. (2021). TRIGO.2020.2021. Instituto Nacional de Semillas. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa\\_if\\_trigo2021.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa_if_trigo2021.pdf).
2. Ministerio de Agricultura, G. y P. (2023). Estimaciones Agrícolas. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>.
3. Bolsa de Cereales de Córdoba. (2016). Cálculos finales de producción de trigo 2022/23 en la provincia de Córdoba. <https://www.bccba.org.ar/informes/calculos-finales-de-produccion-de-trigo-en-cordoba-campana-2022-23/#:~:text=En%20la%20campana%20C3%B1a%202022%2F23,del%2057%20%25%20en%20el%20rinde>.
4. Erenstein, O., Jaleta, M., Mottaleb, K. A., Sonder, K., Donovan, J., & Braun, H. J. (2022). Global trends in wheat production, consumption and trade. In *Wheat Improvement: Food Security in a Changing Climate* (pp. 47-66). Cham: Springer International Publishing.
5. Florio, E. L., & Nosetto, M. D. (2022). A modeling approach to explore the influence of different crop rotations on water-table depths and crop yields in the Pampas. *Soil and Tillage Research*, 223, 105496.
6. Semmartin, M., Cosentino, D., Poggio, S. L., Benedit, B., Biganzoli, F., & Peper, A. (2023). Soil carbon accumulation in continuous cropping systems of the rolling Pampa (Argentina): The role of crop sequence, cover cropping and agronomic technology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 347, 108368.
7. Li, J., & Lei, H. (2021). Tracking the spatio-temporal change of planting area of winter wheat-summer maize cropping system in the North China Plain during 2001–2018. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106222.
8. Gan, L., Cao, X., Chen, X., Dong, Q., Cui, X., & Chen, J. (2020). Comparison of MODIS-based vegetation indices and methods for winter wheat green-up date detection in Huanghuai region of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 288, 108019.

9. Benabdelouahab, T., Lebrini, Y., Boudhar, A., Hadria, R., Htitiou, A., & Lionboui, H. (2021). Monitoring spatial variability and trends of wheat grain yield over the main cereal regions in Morocco: a remote-based tool for planning and adjusting policies. *Geocarto International*, 36(20), 2303-2322.
10. Rodimtsev, S., Pavlovskaya, N., Vershinin, S., Gorkova, I., & Gagarina, I. (2023, February). Assessment of the Vegetative Index NDVI as an Indicator of Crop Yield. In XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022" Global Precision Ag Innovation 2022, Volume 2 (pp. 637-645). Cham: Springer International Publishing.
11. Vannoppen, A., & Gobin, A. (2021). Estimating farm wheat yields from NDVI and meteorological data. *Agronomy*, 11(5), 946.
12. Franch, B., Vermote, E. F., Becker-Reshef, I., Claverie, M., Huang, J., Zhang, J., ... & Sobrino, J. A. (2015). Improving the timeliness of winter wheat production forecast in the United States of America, Ukraine and China using MODIS data and NCAR Growing Degree Day information. *Remote Sensing of Environment*, 161, 131-148.
13. Jarsún, B., Gorgas, J. A., Zamora, E., Bosnero, H., Lovera, E., Ravelo, A., & Tassile, J. L. (2003). 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.
14. Meade, B., Puricelli, E., McBride, W. D., Valdes, C., Hoffman, L., Foreman, L., & Dohlman, E. (2016). Corn and soybean production costs and export competitiveness in Argentina, Brazil, and the United States. *USDA Economic Information Bulletin*, 154.
15. Aliaga VS, Ferrelli F y Piccolo MC. 2017. Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *Int J Climatol* 37: 1237–1247.
16. Ovando G, Sayago S, Bellini Y, Belmonte ML y Bocco M. 2021. Precipitation estimations based on remote sensing compared with data from weather stations over agricultural region of Argentina pampas. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 23: 100589.
17. Ferreyra, M. L., Murgio, M., Luna, D. F., & Saire, J. O. (2018). Evaluación de cultivos de trigo en Inta Manfredi-Campaña 2017. EEA Manfredi.
18. Didan, K. (2021). MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V061 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2023-05-08 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.061>
19. Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D. and Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202: 18–27
20. Kong, D., McVicar, T. R., Xiao, M., Zhang, Y., Peña-Arancibia, J. L., Filippa, G., ... & Gu, X. (2022). phenofit: An R package for extracting vegetation phenology from time series remote sensing. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(7), 1508-1527.
21. McCloy, K. R., & Lucht, W. (2004). Comparative evaluation of seasonal patterns in long time series of satellite image data and simulations of a global vegetation model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(1), 140-153.
22. Diao, C., & Li, G. (2022). Near-Surface and High-Resolution Satellite Time Series for Detecting Crop Phenology. *Remote Sensing*, 14(9), 1957.
23. Diao, C. (2020). Remote sensing phenological monitoring framework to characterize corn and soybean physiological growing stages. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111960.
24. Zeng, L., Wardlow, B. D., Xiang, D., Hu, S., & Li, D. (2020). A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111511.
25. Slafer, G. A., Hall, A. J., & Miralles, D. J. (2019). Aportes argentinos a la ecofisiología de cultivos. *Agronomía & Ambiente*, 38(2).

26. Core, R. (2015). Team. R: a language and environment for statistical computing.
27. Bolsa de Cereales de Córdoba (2015). Situación de Trigo y Garbanzo: Niveles de fertilización en trigo. <https://www.bccba.org.ar/wp-content/uploads/2020/08/informe76.pdf>.
28. Bolsa de Cereales de Córdoba (2015). INFORME SALIDA A CAMPO N° 49. [https://www.bccba.com.ar/images\\_db/noticias\\_archivos/3151-Salida%20a%20campo%2049.pdf#viewer.action=download](https://www.bccba.com.ar/images_db/noticias_archivos/3151-Salida%20a%20campo%2049.pdf#viewer.action=download).
29. Bolsa de Cereales de Córdoba (2017). Cultivo de Trigo: Cálculos finales de producción 2016/17. [https://www.bccba.org.ar/wp-content/uploads/2020/08/Informe-Final-de-Produccion-Trigo-Campa%C3%B1a-2016\\_17.pdf](https://www.bccba.org.ar/wp-content/uploads/2020/08/Informe-Final-de-Produccion-Trigo-Campa%C3%B1a-2016_17.pdf).
30. Bolsa de Cereales de Córdoba (2018). Cultivo de Trigo en Córdoba: Cálculos finales de producción 2017/18. [https://www.bccba.com.ar/images\\_db/noticias\\_archivos/4066-Descargar%20Informe%20N%C2%B0%20127.pdf](https://www.bccba.com.ar/images_db/noticias_archivos/4066-Descargar%20Informe%20N%C2%B0%20127.pdf).
31. Zhou, M., Ma, X., Wang, K., Cheng, T., Tian, Y., Wang, J., ... & Yao, X. (2020). Detection of phenology using an improved shape model on time-series vegetation index in wheat. *Computers and electronics in agriculture*, 173, 105398.
32. Zhao, F., Yang, G., Yang, X., Cen, H., Zhu, Y., Han, S., ... & Zhao, C. (2021). Determination of key phenological phases of winter wheat based on the time-weighted Dynamic Time Warping algorithm and MODIS time-series data. *Remote Sensing*, 13(9), 1836.