

# TRIGO EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA: ¿CÓMO IDENTIFICARLO Y CARACTERIZAR SU CICLO USANDO SOLAMENTE SERIES TEMPORALES DE NDVI?

Nolasco M.<sup>1,2\*</sup>, Martínez M.<sup>1</sup> y Bocco M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Matemática. Córdoba. Argentina.

<sup>2</sup>Comisión Nacional de Actividades Espaciales. Instituto Mario Gulich. Córdoba. Argentina.

[mnolasco@agro.unc.edu.ar](mailto:mnolasco@agro.unc.edu.ar)

## RESUMEN

La provincia de Córdoba en Argentina ocupa el tercer lugar como productora nacional de trigo, con una superficie sembrada de 824.000 hectáreas para la campaña 2023/2024. 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 fue 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 caracterización realizada no sólo permitió la identificación de áreas dedicadas al cultivo, sino también contribuyó al desarrollo de mejores modelos de estimación y, por lo tanto, facilitaron el seguimiento y manejo de los cultivos de trigo en la región.

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

## INTRODUCCIÓN

En la República Argentina, el sector agropecuario se constituye como uno de los principales recursos económicos, tanto en la generación de divisas como en el abastecimiento de su mercado interno. Los principales cultivos son cereales, como el trigo, la cebada, el maíz y en menor medida la avena y el sorgo, así como las oleaginosas, como el girasol, la soja y el maní.

En particular el trigo, además de su importancia en términos de producción y réditos económicos, es un cultivo fundamental para la seguridad alimentaria de Argentina y la región. Por ser un alimento básico su producción y disponibilidad tienen un impacto directo en los precios y el acceso a los alimentos de la población (Erenstein, 2022). Además, el cultivo de trigo tiene beneficios ambientales ya que ayuda a la conservación del suelo, reduce el uso de fertilizantes químicos y promueve prácticas agrícolas sostenibles (Semmartin et al., 2023).

Entre las regiones productoras de trigo más importantes del país se encuentra la provincia de Córdoba. Esta provincia es el tercer productor nacional de trigo, con una superficie sembrada de 824.000 hectáreas para la campaña 2023 (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2024), la cual produjo aproximadamente 1.500.000 toneladas de trigo pan (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2024). 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, Pehuén y Baguette 620 (Sistema de Información Simplificada Agrícola, 2023).

En la actualidad, una de las mejores formas para 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 de NDVI de MODIS es una herramienta valiosa. Por una parte, la alta resolución temporal de MODIS permite realizar un seguimiento del cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento, y de esta manera detectar cambios en la vegetación a lo largo del tiempo y descubrir patrones y tendencias en la productividad (Li et al., 2021; Gan et al., 2020; Benabdelouahab et al., 2021). Por otra parte, la serie temporal 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 periodo crítico del cultivo, tiene una fuerte relación con los rendimientos finales (Rodimtsev et al., 2023; Vannoppen et al., 2021), aun considerando que la variabilidad climática siempre condiciona la estimación de rendimientos.

Utilizando anomalías de las series temporales de NDVI y modelos de regresión, para lotes agrícolas de la provincia de Córdoba, en Nolasco et al. (2021) se detectaron cambios en el rendimiento de soja a nivel

departamental. Para un partido de la provincia de Buenos Aires, Marini (2021) empleando algoritmos de clasificación de Máxima Verosimilitud, Máquinas de Soporte Vectorial y Random Forest con el uso de NDVI lograron discriminar trigo de cebada.

El objetivo de este trabajo fue 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, con el fin de identificar la presencia de este cultivo, diferenciarlo de la cobertura por rastrojos y estimar el momento de ocurrencia del periodo crítico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

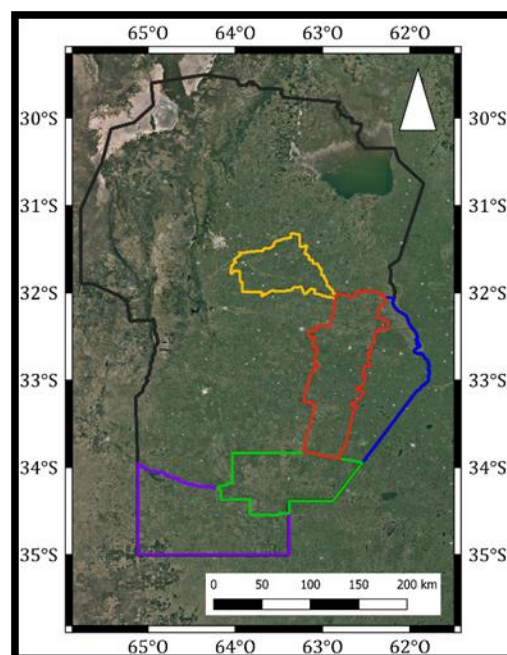
### Área de estudio

El área de estudio abarcó la región centro, sur, y este de la provincia de Córdoba, Argentina, que conforma la superficie agrícola por excelencia, debido a las condiciones ambientales propicias. Incluyó cinco departamentos: General Roca, Marcos Juárez, Pte. Roque Sáenz Peña, Río Segundo y Unión (**Figura 1**). Los suelos predominantes son Haplustoles y Argiustoles, en general son suelos profundos y bien drenados con una textura franco arenosa fina (Jarsún et al., 2003). El clima es templado, con una temperatura promedio en verano/invierno de aproximadamente 23.5°/8°C. La precipitación promedio anual es de aproximadamente 800 mm, concentrada en primavera y verano (Aliaga et al., 2017; Ovando et al., 2021). La producción agrícola, debido a las condiciones de suelo y clima, particularmente por la distribución de precipitaciones, incluye como predominantes el trigo como cereal de invierno, y a la soja y el maíz como cultivos de verano.

### 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 (Ferreira et al., 2018), el período de crecimiento abarca 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 el número de lotes con cobertura de rastrojo o cultivo de trigo, registrados por campaña agrícola invernal (**Tabla 1**).



**Figura 1.** Ubicación geográfica del área de estudio en la provincia de Córdoba: departamentos Gral. Roca (violeta), Marcos Juárez (azul), Pde. Roque Sáenz Peña (verde), Río Segundo (amarillo) y Unión (rojo).

**Tabla 1.** Número de lotes relevados con trigo o rastrojo en el área de estudios correspondientes a las campañas agrícolas invernales desde 2015 a 2017.

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

### Datos satelitales

El sensor MODIS, a bordo de los satélites Aqua y Terra, cuenta con una frecuencia de revisión 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 y resolución temporal de 16 días (Didan, 2021).

Para cada parcela, se obtuvieron un total de 23 valores de: NDVI, día del año y confiabilidad del píxel (confiabilidad de calidad del píxel), para el píxel central, a partir de la plataforma web Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017).

### Phenofit

La estimación del momento de ocurrencia del pico del índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

durante el ciclo de crecimiento del trigo se llevó a cabo utilizando Phenofit (Kong et al., 2022). Este software libre está desarrollado en el lenguaje de programación R y permite extraer diversas métricas que describen las variaciones estacionales del NDVI. Como se afirma en MCloy et al. (2004) la fenología de la vegetación, incluyendo el inicio de la temporada de crecimiento, el pico y el final del desarrollo, está estrechamente relacionada con las variaciones del NDVI.

Phenofit proporciona diversos métodos para ajustar las series temporales de NDVI. En este estudio, se empleó el método Beck (Diao y Li, 2022), que 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 (Diao, 2020; Zeng et al., 2020). Estas características del método son importantes principalmente para los cultivos que presentan una etapa de crecimiento temporal con cambios rápidos en el vigor, relacionados con períodos de emergencia, verdor, marchitez y cosecha. Para los datos de cada campaña, se calculó la métrica del pico de la temporada, relacionada con la etapa reproductiva del cultivo, de acuerdo con el procedimiento propuesto por Diao (2020); la determinación de este valor permite realizar las estimaciones de rendimiento final del cultivo de trigo.

Una vez obtenida la métrica del pico de la temporada, se realizó un proceso de filtrado de los datos: en primer lugar, se eliminaron los registros para los cuales no fue posible 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 (Slafer et al., 2019).

#### **Estadística de validación**

Con el conjunto 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; para cada uno de éstos se obtuvo el valor promedio y la desviación estándar.

Por otra parte, 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.

Estos resultados se compararon 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 y se calculó el valor promedio y el percentil 90. El análisis estadístico se realizó mediante el software R (R Core team, 2021).

Por último, con los umbrales obtenidos a partir del percentil 10 y 90 de los valores de máximo NDVI de los lotes con trigo y rastrojo se generaron reglas de decisión. Estas reglas se aplicaron para el mapeo de la cobertura invernal.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

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 de 2015, 2016 y 2017, se muestran en la **Figura 2**. Se observa que 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 de 2017, mientras que la mayor dispersión se presenta en 2015.

Además de establecer el momento (o intervalo) de ocurrencia es importante obtener el valor del NDVI, que permitirá distinguir el trigo de otras coberturas y monitorear el crecimiento del mismo, por ello en la **Figura 3** se muestran los histogramas de los valores de máximo NDVI en los lotes con cultivo de trigo para las tres campañas agrícolas.

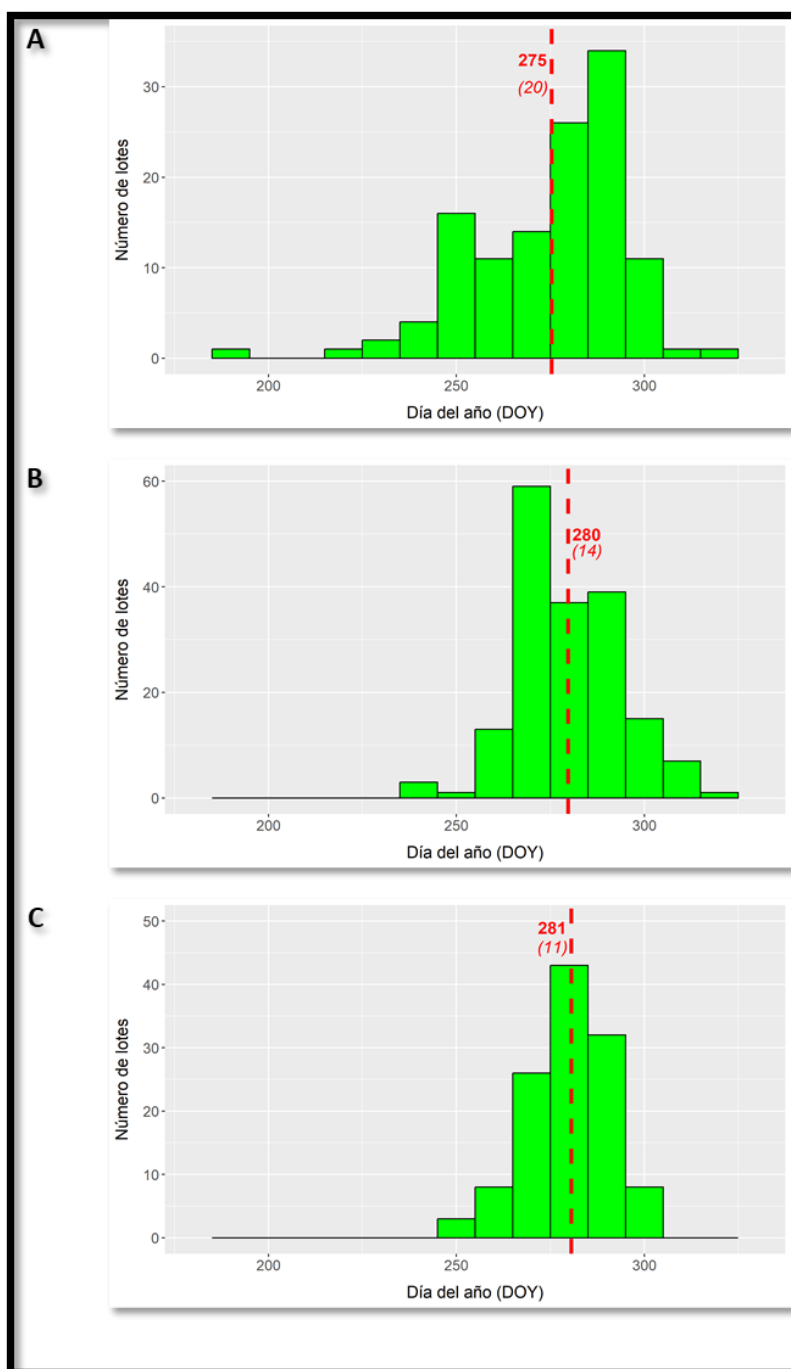
Para el período en estudio, el valor promedio de máximo NDVI es de aproximadamente 0,8 y el 90% de los lotes presenta un valor superior a 0,68. Con el mismo propósito en la **Figura 4** se presentan los histogramas de los valores de máximo NDVI de los lotes con cobertura de rastrojo. Para éstos los registros muestran un valor promedio de NDVI de aproximadamente 0,4 y el 90% son inferiores a 0,62.

Los valores presentados en las **Figura 3** y **Figura 4** deben siempre evaluarse en las condiciones agroclimáticas de cada campaña, y de acuerdo a los informes técnicos emitidos por la Bolsa de Cereales de Córdoba (BCC, 2015b, BCC, 2017) para el área de estudio, en las campañas 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 2016, el 80% de los lotes de trigo tuvieron su período crítico (de 20 días antes a 10 días después de la floración) en el mes de octubre, mientras que el 20% restante lo tuvo en el mes de noviembre. En contraste, en la campaña 2017 la precipitación acumulada fue inferior y se registraron

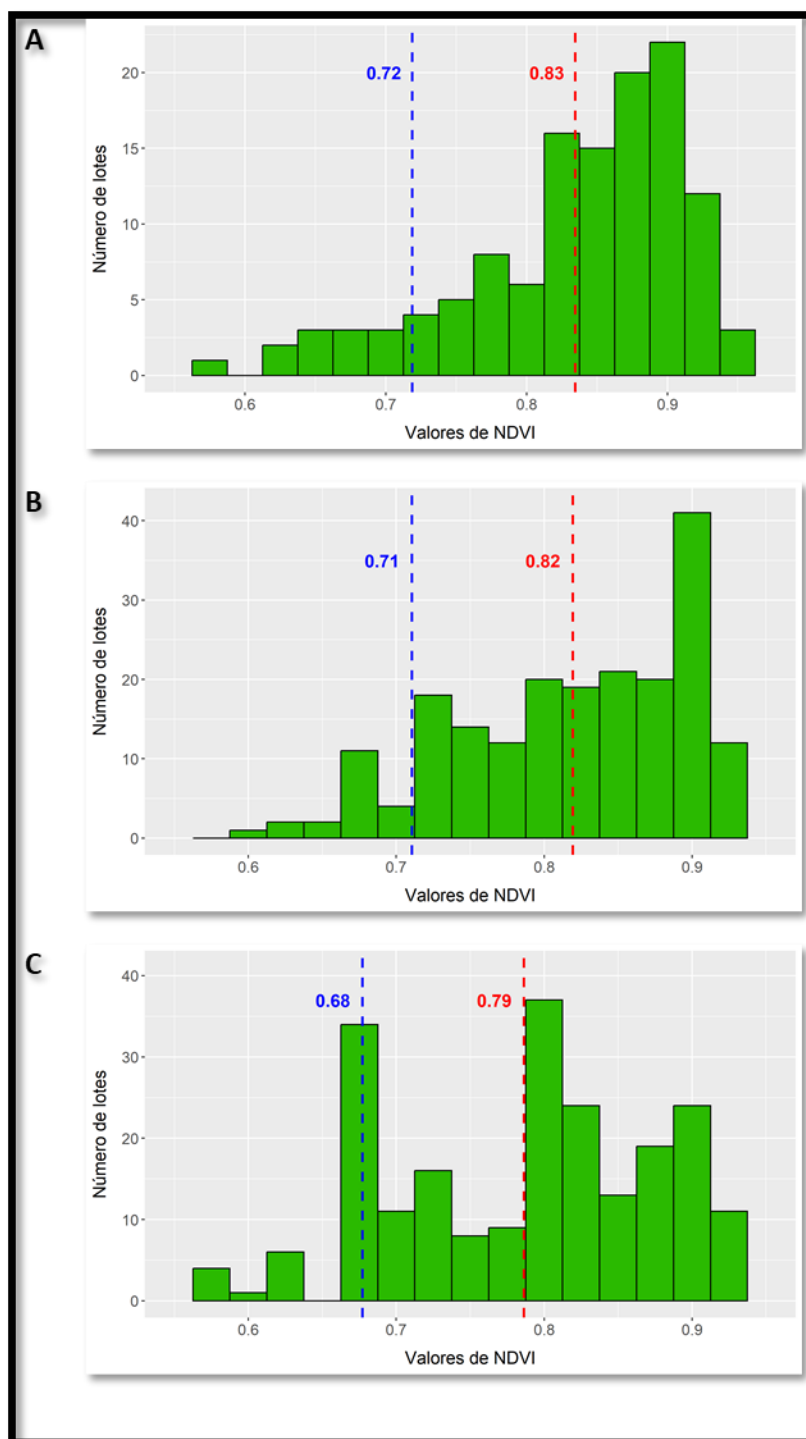
heladas en la etapa pre-macollaje, que es una fase sensible al daño por frío, lo que afectó el crecimiento y el desarrollo posterior del cultivo. En esta última campaña, el 100% de los lotes de trigo tuvieron su período crítico en el mes de octubre.

Con el fin de evaluar la aplicabilidad de los umbrales calculados, estos fueron utilizados en imágenes de NDVI de las campañas y departamentos estudiados, con el fin de mapear la cobertura por cultivo de trigo o rastrojo. Para ello en primer lugar se calculó un mosaico con el

valor de máximo NDVI registrado en los meses de septiembre y octubre de cada campaña invernal a partir de datos MOD13Q1. Los píxeles del mosaico fueron clasificados de la siguiente manera: píxeles con valores menores a 0,62 fueron etiquetados como rastrojo, píxeles con valores mayores a 0,68 se etiquetaron como trigo. Los píxeles con valores de NDVI entre 0,62 y 0,68 no fueron clasificados. Finalmente se contabilizó la superficie mapeada como trigo, para cada departamento y campaña.



**Figura 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 y campañas agrícolas 2015 (A), 2016 (B) y 2017 (C). El valor promedio y desvío estándar se indican con la línea punteada y texto en color rojo.



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

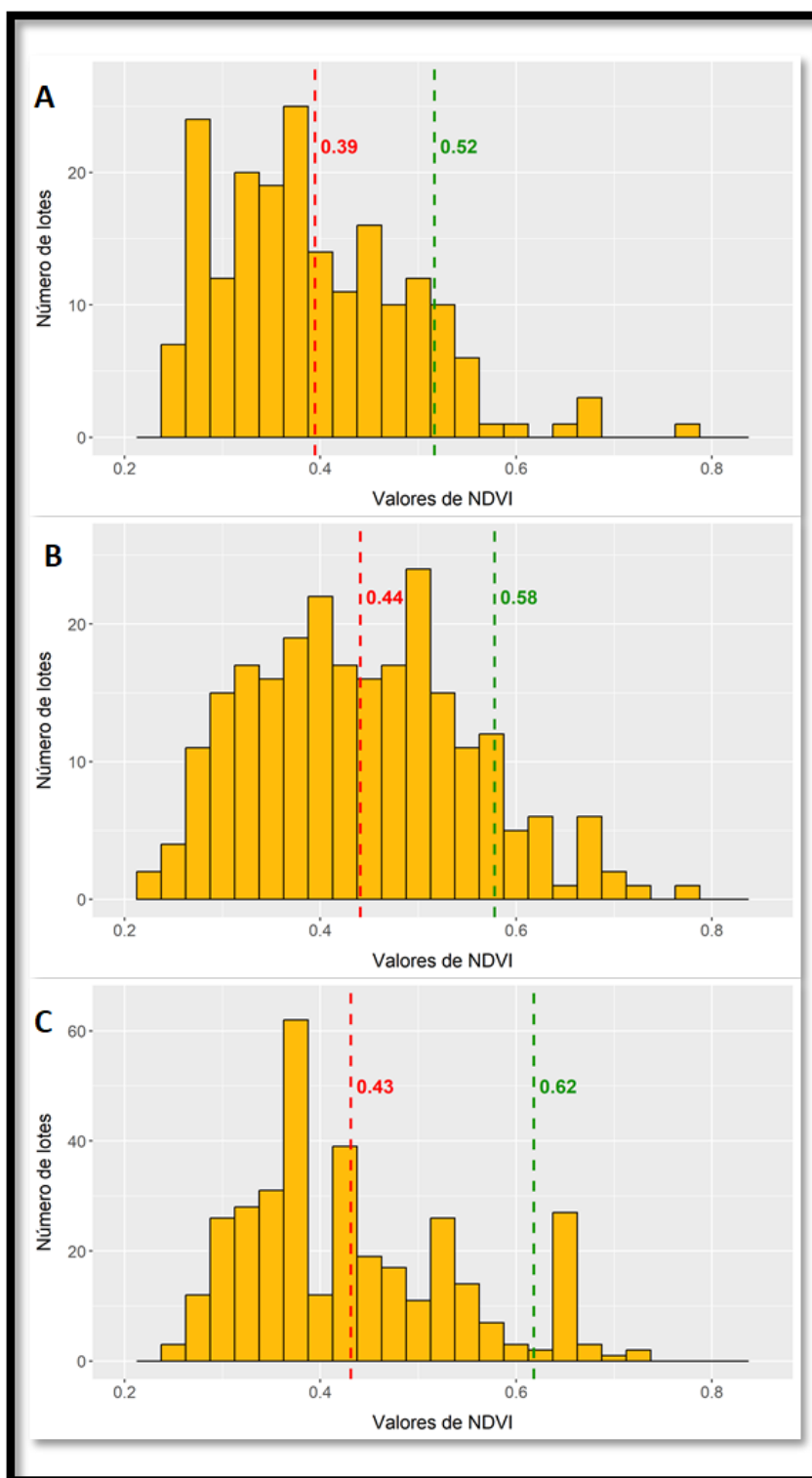
Los valores de superficie dedicada al cultivo de trigo estimada por medio de la clasificación de la imagen de NDVI fueron contrastados con los registros que provee la Bolsa de Cereales de Córdoba (BCC, 2024). En el gráfico de puntos (**Figura 5**), se aprecia una muy buena correspondencia entre los valores calculados y los informados por la BCC, alcanzando un  $R^2$  cercano a 0,9.

En la **Figura 6** se exponen los mapas correspondientes al departamento Unión, en los que se exhiben el mejor ajuste con los registros de superficie sembrada que informa la Bolsa de Cereales de Córdoba para las 3 campañas estudiadas.

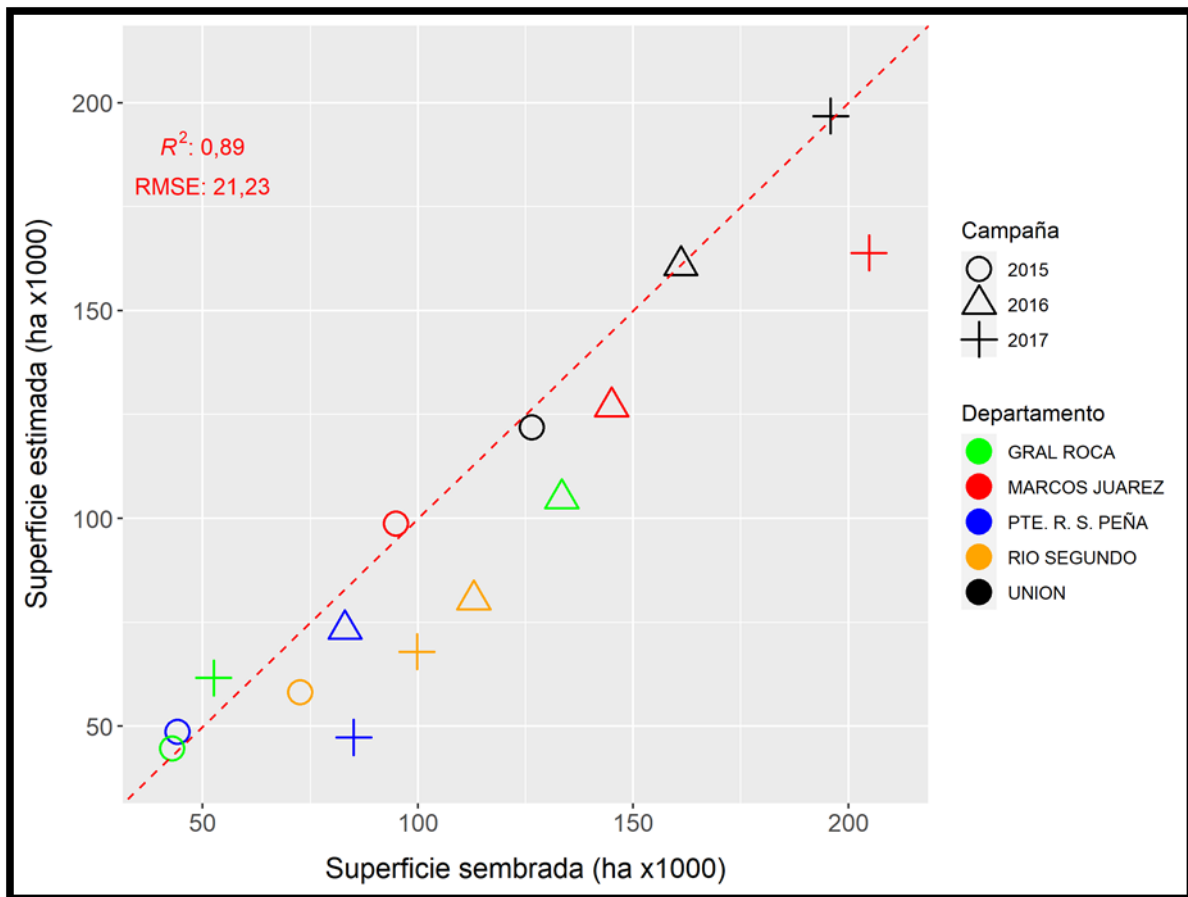
Se observa que los resultados obtenidos en este estudio son coherentes y coinciden con los informes técnicos de la BCC (2015, 2017, 218). Para las tres campañas

analizadas, se estimó que la etapa de floración se concentra en la primera quincena de octubre, y una menor dispersión en la campaña de 2017. Las condiciones ambientales menos favorables para el cultivo de trigo observadas en esta última campaña se

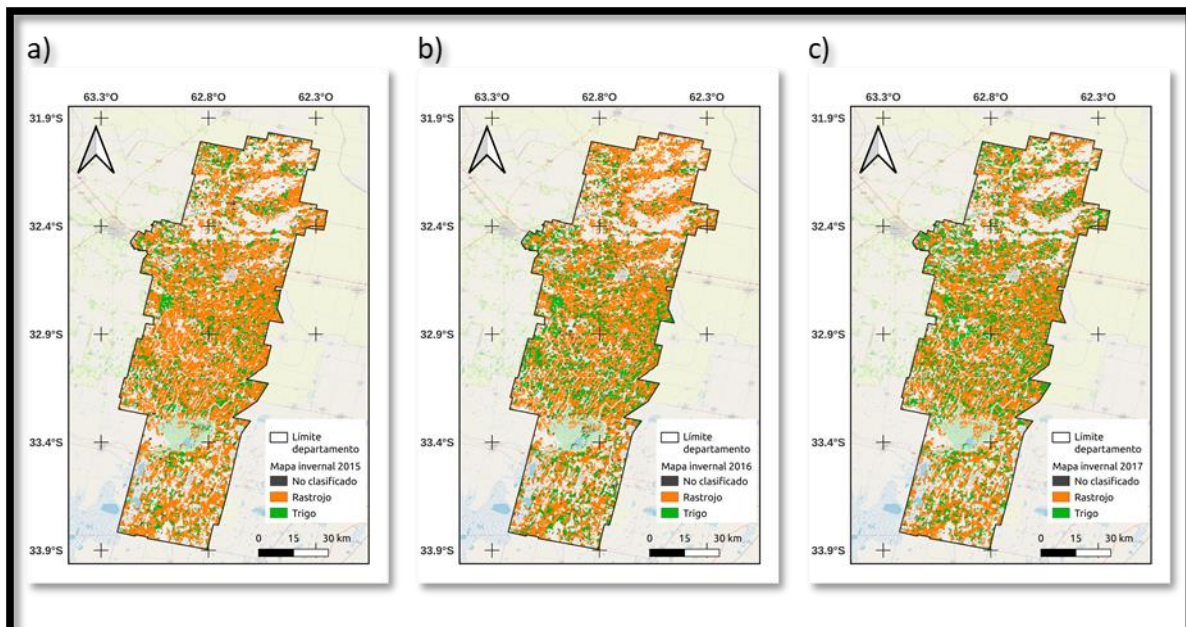
corresponden con una mayor dispersión de los valores de máximo NDVI y un valor promedio menor. Asimismo, se observa una muy buena correspondencia entre los valores estimados de superficie con cultivo de trigo y los registros de la Bolsa de Cereales de Córdoba.



**Figura 4.** Histogramas de frecuencia absoluta de valores de máximo NDVI, para lotes con cobertura de rastrojo en la provincia de Córdoba campaña agrícola 2015 (A), 2016 (B) y 2017 (C). El valor promedio se indica con línea punteada y texto en color rojo, y el percentil 10 en color verde.



**Figura 5.** Gráfico de puntos de la relación entre superficie sembrada (informada por la Bolsa de Cereales de Córdoba), y calculada por medio de la clasificación de valores de NDVI. La línea punteada ejemplifica una relación 1:1.



**Figura 6.** Mapas resultantes de la clasificación de valores de NDVI de MOD13Q1 para el departamento Unión, campañas agrícolas invernales 2015 (a), 2016 (b) y 2017(c).

La capacidad de identificar la presencia de cultivo de trigo y estimar con precisión el momento de la floración en el cultivo de trigo es crucial para los modelos de rendimiento. Además, en las últimas décadas se ha

observado un cambio en las fechas de las etapas fenológicas debido al calentamiento global (Gan et al., 2020). 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 (Diao et al., 2022). En cuanto a los datos satelitales disponibles, se puede afirmar, al igual que en Li et al. (2021); Gan et al. (2020); Benabdelouahab et al. (2021); Zhao et al. (2021), 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 el área dedicada a este cultivo, su ciclo, y estimar su 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 es una herramienta útil para la estimación del pico de NDVI del cultivo de trigo en la zona de estudio. 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 es de gran relevancia, ya que permitió distinguir de forma simple ambas clases de cobertura y detectar la presencia de cultivos de trigo en la zona de estudio. La información de un índice de fácil obtención como es el NDVI, la validación del modelo aplicado y los resultados obtenidos contribuyen a lograr mejor seguimiento y manejo de los cultivos de trigo en la región.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Secyt – UNC por el apoyo financiero brindado para la realización de este trabajo, y la Bolsa de Cereales de Córdoba por proporcionar el conjunto de datos de referencia a terreno. Este conjunto de datos se utilizó con fines académicos en este estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga V.S., Ferrelli F. y Piccolo M.C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *Int J Climatol* 37: 1237–1247.
- 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.
- 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).
- 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>.
- 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).
- 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).
- Bolsa de Cereales de Córdoba. (2024). Córdoba. Cálculos finales de producción de trigo campaña 2023/24. <https://www.bccba.org.ar/informes/cordoba-calculos-finales-de-produccion-de-trigo-campana-2023-24/>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Diao, C. (2020). Remote sensing phenological monitoring framework to characterize corn and soybean physiological growing stages. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111960.
- Diao, C., & Li, G. (2022). Near-Surface and High-Resolution Satellite Time Series for Detecting Crop Phenology. *Remote Sensing*, 14(9), 1957.
- 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>
- 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.
- Ferreira, M. L., Murgio, M., Luna, D. F., & Saire, J. O. (2018). Evaluación de cultivares de trigo en Inta Manfredi-Campaña 2017. EEA Manfredi.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- 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.
- Marini, F. (2021). Discriminación de trigo y cebada empleando imágenes satelitales ópticas y radar. Estudio de caso: partido de Coronel Rosales (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 104-e60173, (pp. 1-17).
- 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.
- Ministerio de Agricultura, G. y P. (2024). Estimaciones Agrícolas. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>.
- Nolasco, M., Ovando G., Sayago S., Magario, I. y Bocco M. (2021). Estimating soybean yield using time series of anomalies in vegetation indices from MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 42(2), 405-421
- Ovando G., Sayago S., Bellini Y., Belmonte M.L. 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.
- 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.
- 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.
- Sistema de Información Simplificado Agrícola. (2023). TRIGO.2022.2023. Instituto Nacional de Semillas. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa\\_trigo\\_inase\\_2022\\_2023.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa_trigo_inase_2022_2023.pdf)
- Slafer, G. A., Hall, A. J., & Miralles, D. J. (2019). Aportes argentinos a la ecofisiología de cultivos. *Agronomía & Ambiente*, 38(2).
- Vannoppen, A., & Gobin, A. (2021). Estimating farm wheat yields from NDVI and meteorological data. *Agronomy*, 11(5), 946.
- 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.
- 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.