

Variación espacio-temporal de la fenología del arroz en Aragón a partir de información multispectral satelital

Guillén, M., Moreno-García, B., Quílez, D., Casterad, M. A.

Unidad de Suelos y Riegos- CITA de Aragón (Unidad asociada EEAD-CSIC), Avda Montañana 930, 50059 Zaragoza.
mguillenc@aragon.es, bmorenoga@cita-aragon.es, dquilez@aragon.es, acasterad@aragon.es

Resumen: El manejo de los cultivos exige conocer su fenología anual para poder establecer los momentos adecuados en los que llevar a cabo diferentes actuaciones durante la campaña agrícola. Las imágenes multispectrales son una fuente de información que se está incorporando en herramientas de ayuda a la toma de decisiones en agricultura. El propósito de este trabajo es conocer la variación espacio-temporal de la fenología del arroz en Aragón para decidir las fechas idóneas de adquisición de imágenes a partir de las cuales se pueda diseñar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en la aplicación de la fertilización nitrogenada. Para ello se construyen y comparan series temporales de NDVI obtenidas, según los años, de imágenes Landsat o Deimos, con las que se caracteriza el ciclo fenológico del arroz en siete localidades distribuidas en las zonas arroceras de Aragón durante el periodo 2008-2013. Los resultados obtenidos muestran que el desarrollo del cultivo fue similar todos los años, excepto en 2013 debido a condiciones meteorológicas adversas después de la siembra. Además, no parecen existir diferencias de ciclo entre las distintas localidades, a excepción de Ejea de los Caballeros con un desarrollo inicial del cultivo más lento. Esta uniformidad de ciclos del cultivo simplifica y abarata la adquisición de la información espectral al no precisarse de imágenes en fechas diferentes para cada localidad.

Palabras clave: Arroz, NDVI, Fenología, Landsat, Deimos.

Spatio-temporal variation of rice phenology in Aragon from satellite multispectral information

Abstract: *The knowledge of crop phenology is necessary to establish the right times to carry out agricultural activities during the growing season. Multispectral images provide relevant crop information and are being incorporated into decision support tools in agriculture. The objective of this work was to study the spatio-temporal variation of rice phenology in Aragon to determine suitable dates for the acquisition of images for the design of a decision support tool for N topdressing recommendations. To achieve this objective, series of NDVI (from Landsat or Deimos depending on the year) were built and compared to characterize rice phenological cycle in seven locations distributed in the rice-growing areas of Aragon in the years 2008 to 2013. The results showed that the crop development was similar between years, except in 2013 due to adverse meteorological conditions after sowing. Moreover, phenological cycles in the different locations were similar, except for Ejea de los Caballeros where the initial crop development was lengthier. This uniformity in crop development could simplify and reduce the cost of the acquisition of the spectral information since it is not necessary to obtain images at different dates for each location.*

Keywords: *Rice, NDVI, Phenology, Landsat, Deimos.*

1. INTRODUCCIÓN

Tener información del estado de los cultivos es útil para el buen manejo de los mismos y poder realizar estimaciones de su producción. La información del desarrollo fenológico de los cultivos es fundamental porque describe el estado de las variedades y especies cultivadas y la relación de estas con las condiciones edafoclimáticas (Boschetti *et al.*, 2009). El seguimiento fenológico se realiza en campo, normalmente mediante visualización de características morfológicas fácilmente reconocibles (BBCH, 2001) siguiendo un sistema internacional, con una descripción estandarizada y con un código del estado de desarrollo de la planta.

Mediante análisis multitemporal de índices de vegetación también se puede caracterizar el desarrollo fenológico. El índice espectral más común para el seguimiento y evaluación de la cobertura vegetal es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). En el

caso del arroz, Boschetti *et al.* (2009) identificaron con éxito su fenología (emergencia, espigado y maduración) utilizando valores de NDVI obtenidos del sensor de resolución media MODIS en un seguimiento realizado durante cinco años (2001-2005) en una zona arroceras de Italia. Wang *et al.* (2014, en un ensayo de arroz localizado en Nanjing (China), estudiaron la posibilidad de utilizar el NDVI derivado de medidas de radiómetro en campo para detectar fechas de inundación y trasplante, ahijado, desarrollo de la panícula, espigado y floración, madurez y cosecha. Encontraron una muy buena relación entre la fenología del arroz y cambios en su NDVI, y determinaron que este índice puede ser muy útil para monitorizar la fenología a gran escala.

El objetivo de este trabajo es caracterizar a partir de información multispectral el ciclo fenológico del arroz en Aragón, para conocer la variación espacio-temporal de la fenología en esta región, y poder decidir las fechas idóneas de adquisición de imágenes a partir de las cuales

diseñar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en la aplicación de la fertilización nitrogenada.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Cultivo de arroz en Aragón

El arroz en Aragón, casi en su totalidad variedad Guadamar, está localizado en las comarcas de Ribera del Ebro y Cinco Villas en la provincia de Zaragoza y Bajo Cinca y Flumen-Monegros en la de Huesca (Figura 1). Se cultiva en primavera-verano bajo inundación. La siembra se suele realizar sobre el 10 de mayo y la cosecha sobre el 10 de octubre. El ciclo fenológico suele tener una duración de entre 150-180 días. Este ciclo está dividido en tres fases: *fase vegetativa*, período que va desde la germinación hasta el final de ahijamiento con una duración de unos 50-60 días; *fase reproductiva*, desde la iniciación del primordio de la panícula hasta la floración, 10-40 días; y finalmente la fase de maduración, a partir de la floración hasta la madurez, 50-80 días (Arasanz, 1995 en Anane, 2000).

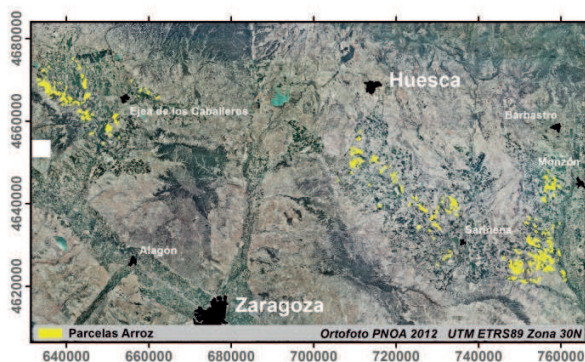


Figura 1. Zonas arroceras en Aragón entre los años 2009-2013.

Las condiciones climáticas, heterogéneas en un territorio extenso como Aragón, afectan al desarrollo de los cultivos. En el caso del arroz la temperatura y el viento son las variables meteorológicas más influyentes. Para conseguir una muestra representativa de la variabilidad espacio temporal de la fenología en Aragón se eligió un periodo de estudio de seis años, 2008 a 2013 y una muestra de parcelas distribuidas por todas las comarcas en que se cultiva arroz.

2.2. Fuentes de información utilizadas

Se utilizó información de la base de datos cartográfica disponible en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), proveniente de fondos propios y de diversas administraciones públicas. Concretamente se utilizaron: (i) datos SIGPAC de los años 2008-2013, procedentes del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón; (ii) Ortofotos del año 2012 del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG); (iii) 35 imágenes de satélite Landsat 5-TM del periodo 2008-2011, 6 imágenes de satélite Deimos de 2012, y 7 imágenes de satélite Landsat 8-OLI de 2013 obtenidas

del Plan Nacional de Teledetección (PNT). Todas las imágenes utilizadas estaban corregidas geométrica y radiométricamente (corrección atmosférica y cálculo de reflectividades).

2.3. Selección de las parcelas de estudio

Se seleccionaron parcelas distribuidas por todo el territorio para recoger la variedad climática, varietal y de prácticas agrícolas que se pueden encontrar en estas zonas arroceras. Concretamente se eligieron parcelas en los municipios de Ejea de los Caballeros (Zaragoza), Alcolea de Cinca, Grañén, Lalueza, Monzón, San Miguel de Cinca, Sangarrén, Sariñena, Torralba de Aragón, Barbués-Torres de Barbués y Villanueva de Sigüenza (Huesca).

La elección se realizó a partir de los datos SIGPAC, escogiendo recintos que tuvieran declarado arroz en los años del periodo de estudio. Las parcelas definitivas a utilizar en el estudio se determinaron tras comprobar visualmente sobre composiciones falso color de las imágenes, que efectivamente eran parcelas cultivadas con arroz.

2.4. Extracción de información de las imágenes de satélite

Para caracterizar el desarrollo del cultivo se eligió el NDVI, índice que se obtuvo de cada una de las imágenes seleccionadas

En cada parcela se aplicó un "buffer" interior de 50 m para eliminar el efecto borde y se extrajo la información estadística básica del NDVI, media ($\overline{\text{NDVI}}$), máximo, mínimo y la desviación estándar, en cada una de las fechas de estudio. Se analizaron los datos obtenidos para cada uno de los municipios y años comparando para un mismo año los diferentes municipios, así como para un mismo municipio los diferentes años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variabilidad anual del NDVI

En la Figura 2 se presentan para cada año de estudio la evolución del $\overline{\text{NDVI}}$, obtenido de imágenes Landsat para los años 2008-2011 y 2013 y Deimos para el año 2012, en cada localidad. En términos generales, los ciclos de las distintas localidades son bastante similares (las líneas de evolución tienden a ir paralelas), produciéndose los incrementos o descensos de $\overline{\text{NDVI}}$ en los mismos momentos.

En las áreas de estudio el arroz presenta siempre valores de $\overline{\text{NDVI}}$ entre 0,1 y 0,3 en abril, valor característico de la respuesta de un suelo indicando que todavía no se ha inundado las parcelas. Con las imágenes disponibles es difícil determinar exactamente el momento del inicio del ciclo del cultivo. Sería necesaria una mayor densidad de imágenes en ese periodo concreto. Sin embargo, sí se aprecia que generalmente, durante la primera quincena de mayo se produce un descenso relevante del $\overline{\text{NDVI}}$ respecto al presentado en abril, llegando según los años a valores cercanos a 0 e incluso negativos. Es el periodo

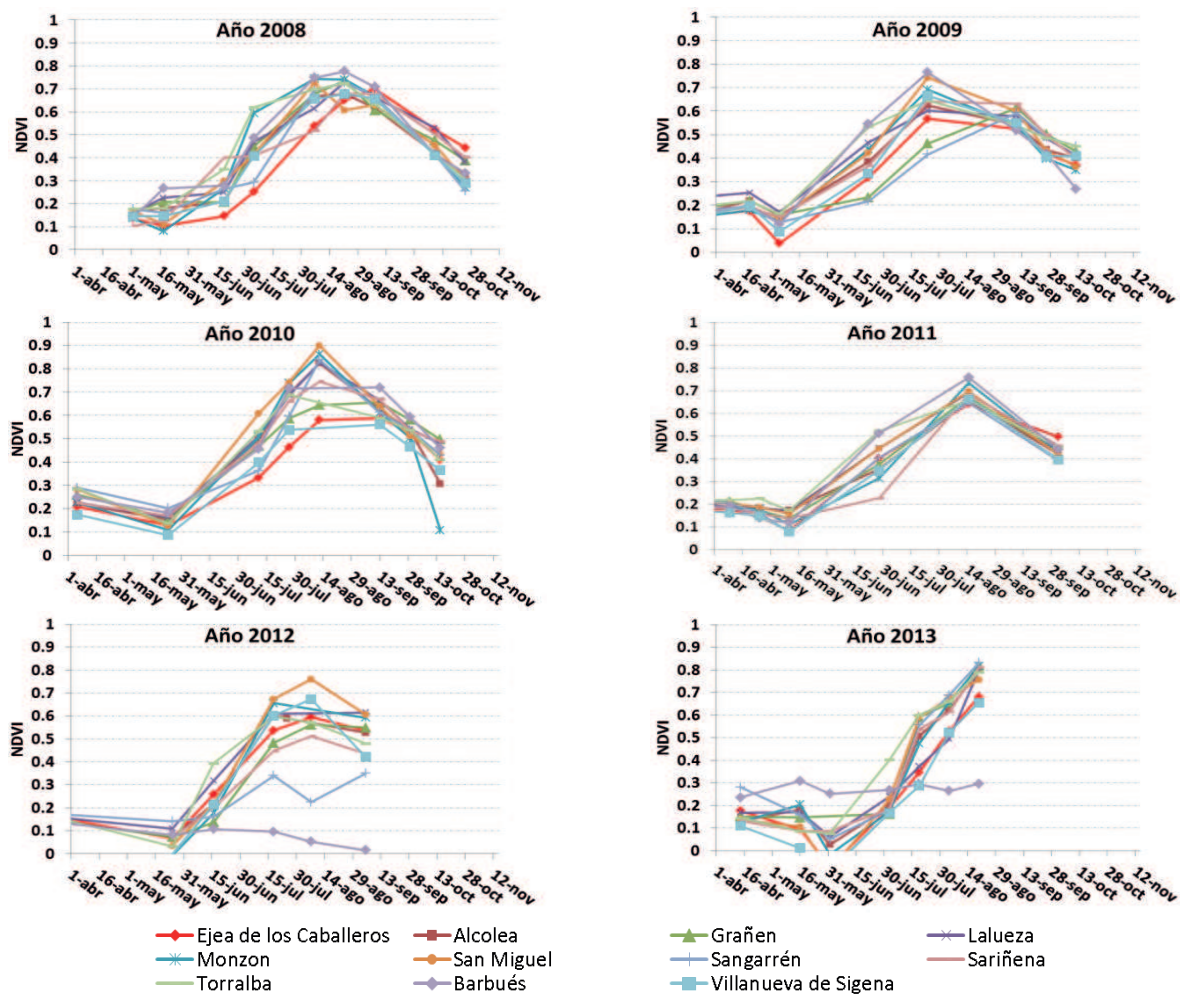


Figura 2. Evolución del NDVI medio en las distintas localidades de Aragón estudiadas.

en el que se produce la inundación de las parcelas y la siembra del cultivo.

En las localidades estudiadas, los mayores NDVI se obtienen normalmente en agosto, alcanzando en algunas localidades y años, parcelas con $\overline{\text{NDVI}}$ superiores a 0,8 (Figura 2). Aunque no se puede determinar el momento exacto de máximo desarrollo vegetativo, si se aprecia el final del periodo del crecimiento del cultivo, momento límite para aplicar la fertilización.

3.2. Variabilidad fenológica entre años

En general, en todas las localidades estudiadas, los ciclos de cultivo en los diferentes años parecen seguir la misma pauta, a excepción del año 2013. Las causas del comportamiento diferencial en 2013 se deben a adversas condiciones meteorológicas. En este año el descenso del $\overline{\text{NDVI}}$ se produce a finales de mayo en lugar de mediados de mayo indicando un retraso en la siembra de unos 15 días. Este retraso fue debido a bajas temperaturas en mayo, temperatura media entre 2 y 6° C inferior al resto de años, y a la mayor velocidad del viento, entre 0,6 y 0,9 m/s superior al resto de años. Durante 2013 el desarrollo vegetativo parece ser menor en todas las localidades aunque en agosto, periodo de máximo

desarrollo vegetativo, no difiere del resto de años. Las mayores temperaturas en julio, 1 a 2°C de promedio, que en el resto de los años pudieron contribuir a este rápido desarrollo.

En el año 2012 también parece que la siembra fue en general algo más retrasada, si bien la falta de imágenes entre 28 de marzo y 25 de mayo impide asegurarlo.

3.3. Variabilidad fenológica entre zonas

Las pendientes entre el valor de $\overline{\text{NDVI}}$ mínimo en mayo y el máximo en julio o agosto, y entre el mencionado valor máximo y el mínimo en septiembre-octubre dan idea de la variabilidad del ciclo entre localidades (Figura 2). En general no hay grandes diferencias entre las distintas localidades en cuanto a desarrollo del cultivo, a excepción de Ejea de los Caballeros. En esta localidad la curva de evolución del $\overline{\text{NDVI}}$ tiende a ir hasta agosto por debajo de las de otras localidades, lo que revela un menor desarrollo vegetativo. Suelen sembrar la misma variedad, Guadiamar, que en las otras localidades, e incluso variedades de ciclo más corto como Tea, ya que es una zona más fría y con más viento.

El ciclo vegetativo en Ejea de los Caballeros, parece que tiende a ser más largo ya que se puede observar que los

NDVI máximos se producen más tarde en el año y la curva de evolución de $\overline{\text{NDVI}}$ presenta una tendencia más suave que en el resto de localidades. En el año 2008, se puede observar claramente esta diferencia, los valores $\overline{\text{NDVI}}$ en Ejea están por debajo de los del resto de municipios hasta agosto y además se produce un desfase en la curva de NDVI, observándose el máximo valor a mediados de septiembre. En el resto de los años, no se observa este desfase, pero sí se observa que los valores máximos de NDVI son siempre de los más bajos (en algunos casos por debajo de 0,6 como en los años 2009 y 2010).

El año 2008 presenta las mayores variaciones en el momento de implantación del cultivo entre zonas. En los municipios de Alcolea de Cinca, Grañén, Lalueza, Sangarrén, Sariñena, Torralba de Aragón, Barbués y Villanueva de Sigena se observa un ligero adelanto en la fecha de siembra del cultivo (finales de abril) mientras que Ejea, Monzón y San Miguel de Cinca la siembra se realizó en las fechas habituales (primera quincena de mayo).

En el año 2009 las localidades de Sangarrén y Grañén presentan un claro desfase en el ciclo vegetativo, difícil de explicar ya que las temperaturas fueron las normales en la zona. Las localidades de Barbués, sin cultivo de arroz en 2012 y 2013, Torralba de Aragón y San Miguel de Cinca tienden a presentar los mayores desarrollos vegetativos, alcanzando en general $\overline{\text{NDVI}}$ más alto que en la mayoría de las otras localidades durante el periodo de crecimiento del cultivo (mayo-agosto).

4. CONCLUSIONES

Con las imágenes de satélite LANDSAT (resolución temporal de 16 días) es difícil identificar con exactitud en Aragón tanto el momento de implantación del arroz (primera quincena de mayo generalmente) como el de su máximo desarrollo (agosto generalmente). La utilización conjunta de imágenes de diferentes satélites de resolución similar (Spot, Deimos, Landsat, etc.) y/o satélites con mayor resolución temporal (Sentinel 2), permitirá disponer de datos con mayor frecuencia para así poder caracterizar con más precisión la variabilidad temporal y espacial de los ciclos del arroz en Aragón.

Variabilidad espacial del ciclo del arroz. No se aprecian diferencias importantes en los ciclos vegetativos del arroz, casi en su totalidad variedad Guadiamar, entre las 11 localidades analizadas en Aragón, a excepción de Ejea de los Caballeros donde el ciclo es más largo debido a la climatología (zona más fría y con mayor viento).

Variabilidad temporal del ciclo del arroz. Los ciclos del arroz caracterizados en el período 2008-2013 siguen pautas similares a excepción del año 2013. En este año se produjo un retraso de 15 días en la siembra y un menor desarrollo vegetativo inicial que se igualó al resto de años en agosto, momento de máximo desarrollo. Las causas de este comportamiento diferente en 2013 se atribuyen a que en el momento de la siembra (mayo) la temperatura fue entre 2-6°C inferior y la velocidad del viento entre 0,6-0,9 m/s mayor al resto de años.

En los arrozales aragoneses la utilización de imágenes obtenidas mediante sensores aeroportados o de satélite sobre grandes extensiones podría ser factible para ayudar a tomar decisiones en el ajuste de la fertilización nitrogenada. El período que se necesita tener bien caracterizado con las imágenes es el comprendido entre la segunda quincena de julio y primera de agosto, momento de máximo desarrollo del cultivo en el que se cubre la lámina de agua y último momento de aplicación del abonado. Las fechas indicadas pueden variar en aquellos años en los que las condiciones meteorológicas, temperatura y viento principalmente, vengan muy diferentes a lo habitual.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de actividades desarrolladas en los proyectos RTA2010-00126 y RTA20130-0057-C04.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Anane, M. 2000. *Determinación mediante datos de satélite de la superficie y distribución del cultivo del arroz en Huesca en 1991 y 1996*. Tesis Máster os Science. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza. CIHEAM. 171 pp.
- Arasanz, M. 1995. Aspectos técnicos del cultivo del arroz. En: *Jornada sobre calidad: El cultivo y futuro del arroz*, Huesca, 12 y 13 de Diciembre 1995. Documento fotocopiado. Federación Aragonesa de Cooperativas Agrarias. Zaragoza. 11pp.
- BBCH. 2001. *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants* (Monographs). Ed. Uwe Meier, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- Boschetti, M., Stroppiana, D., Brivio, P., Bocchi, S. 2009. Multi-year monitoring of rice crop phenology through time series analysis of MODIS images. *International Journal of Remote Sensing*, 30(18), 4643-4662.
- Wang, L., Zhang, F., Jing, Y., Jiang, X., Yang, S., Han, X. 2014. Multi-temporal detection of rice phenological stages using canopy spectrum. *Rice Science*, 21(2), 108-115.