

USO DE IMÁGENES AÉREAS MULTIESPECTRALES PARA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO EN CULTIVO DE ARROZ

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

Unidad de suelos y Riegos (asociada a EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza.
Tel: 976713832, E-mail: bmorenoga@cita-aragon.es

RESUMEN

Se evalúa la utilidad de imágenes multiespectrales de un vuelo comercial (bandas azul, verde, rojo e infrarrojo cercano) para estimar el rendimiento de un cultivo de arroz inundado, en el que se dispone de parcelas fertilizadas con purín porcino y nitrógeno mineral a distintas dosis. Los coeficientes de determinación más elevados se obtienen con la banda del verde ($r^2= 0,74$) y el índice GNDVI ($r^2= 0,79$). Estos resultados indican que esta técnica tiene potencial como herramienta para estimar el rendimiento y podría usarse para el ajuste de la fertilización nitrogenada en cultivo de arroz.

Palabras clave: arroz, índices de vegetación, nitrógeno, rendimiento, respuesta espectral

ABSTRACT

The usefulness of multispectral (blue, green, red and infrared) images to estimate yield of paddy rice fertilized with pig slurry and mineral nitrogen at different rates is investigated. The green band and the GNDVI index presented the strongest linear relation with yield (determination coefficient of 0.74 and 0.79 respectively). These initial results show the potential of this technique to estimate rice yield and open the possibility for the use of spectral data for adjusting nitrogen fertilization in paddy rice.

Keywords: paddy rice, vegetation index, nitrogen, yield, spectral response

1. INTRODUCCIÓN

El uso de nitrógeno en la agricultura como fertilizante es indispensable para aumentar la producción de los cultivos, pero el aumento de N en los suelos agrícolas lleva asociado un riesgo mayor de contaminación de los ecosistemas. Las pérdidas de nitrógeno pueden afectar tanto a las aguas, como a la atmósfera, habiendo tomado éstas últimas especial relevancia en los últimos años debido al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero. El N aplicado se puede perder en forma de N_2O , gas con un potencial de efecto invernadero 300 veces mayor que el CO_2 . Las condiciones de cultivo del arroz inundado favorecen estas pérdidas contribuyendo al calentamiento global. Es por ello, que es muy importante ajustar las dosis de fertilizante a las necesidades de N del cultivo.

En España se cultivan 122.000 ha de arroz, de las cuales el 11,4 % se ubican en Aragón (MAGRAMA, 2012) y dentro de esta Comunidad el 89 % cultivado corresponde a la variedad Guadiamar. La fertilización habitual consiste en una aplicación antes de sembrar con las $\sim 2/3$ partes de la dosis total de N, y una cobertera ($\sim 1/3$ de la dosis de N total) que se aplica al final del ahijado.

La teledetección desde plataformas remotas se ha utilizado para predecir el rendimiento del arroz y podría

también utilizarse como una herramienta de ayuda a la decisión en el ajuste de la fertilización nitrogenada en cobertera.

Se han llevado a cabo estudios para relacionar la información espectral con el rendimiento o el estado nutricional del cultivo del arroz. En unos casos usando imágenes de satélite (Gilbert y Melia, 1990), en otros con medidas de radiometría en campo (Xue *et al.*, 2004; Chang *et al.*, 2005) o con imágenes procedentes de sensores hiperspectrales en aviones (Ryu *et al.*, 2009).

Gilbert y Melia (1990) y Chang *et al.* (2005) obtuvieron una buena relación entre el rendimiento del arroz y algunos índices de vegetación. Otros investigadores han demostrado una fuerte relación entre la información espectral y el contenido de nitrógeno en hoja (Xue *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo es investigar la posibilidad de utilización de imágenes de muy alta resolución espacial tomadas desde un avión con un sensor multiespectral, en el visible e infrarrojo cercano antes de la emergencia de la panícula para estimar el rendimiento de un cultivo de arroz inundado y detectar la existencia de posibles deficiencias nutricionales. Una buena estimación del rendimiento permitiría la utilización de las imágenes como herramienta de ajuste de la fertilización nitrogenada en este cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo sobre un ensayo experimental de arroz (*Oryza Sativa* sb. japónica) variedad Guadiamar ubicado en la localidad de Villanueva de Sigüenza (Huesca, España), cuyas coordenadas son 41°45'36"N y 0°2'4"W, en el periodo Mayo-Octubre 2012. La parcela permaneció inundada desde la siembra hasta un mes antes de la cosecha, realizándose un par de secas para llevar a cabo tratamientos herbicidas.

El abonado del ensayo se realizó con dos tipos de fertilizante, purín porcino y abono mineral en forma de sulfato amónico y se combinaron dos momentos de aplicación: aplicación en fondo antes de la siembra (15 de mayo 2012) y aplicación en forma de cobertera al final del ahijado (4 de julio 2012).

El purín porcino se aplicó en fondo a dos dosis diferentes (equivalentes a 120 Kg N-NH₄/ha y 170 Kg N-NH₄/ha), las cuales se complementaron con abonado mineral en cobertera con 6 dosis de 0 a 150 Kg N/ha. En las parcelas de abonado mineral las dosis de N aplicadas oscilaron desde 0 a 240 Kg N/ha, fertilizándose algunas de ellas en fondo, otras en cobertera y otras en combinación fondo+cobertera. Se obtuvo una respuesta diferencial del cultivo a las diferentes dosis de nitrógeno aplicadas.

El 30 de julio, antes de la emergencia de la panícula, se realizó, cerca del mediodía solar, un vuelo comercial (RS Servicios de Teledetección S.L., Lleida, España) que, mediante un sensor multispectral (DMSI), proporcionó imágenes corregidas geométricamente con resolución espacial de 0,1 m, resolución radiométrica de 14 bits y la siguiente resolución espectral: cuatro bandas, azul (B, 440-460 nm), verde (G, 540-560 nm), rojo (R, 665-685 nm) e infrarrojo cercano (NIR, 770-790 nm). Con los niveles digitales (ND) se calcularon los índices de vegetación NDVI y GNDVI y los ratios entre la banda del infrarrojo cercano y las bandas del Rojo (RR) y el Verde (RG), índices seleccionados por su relación con el contenido de nitrógeno y rendimiento (Gilabert y Melia, 1990; Xue *et al.*, 2004; Chang *et al.*, 2005):

$$NDVI = \frac{ND_{NIR} - ND_R}{ND_{NIR} + ND_R} \quad GNDVI = \left(\frac{ND_{NIR} - ND_G}{ND_{NIR} + ND_G} \right)$$

$$RG = \frac{ND_{NIR}}{ND_G} \quad RR = \frac{ND_{NIR}}{ND_R}$$

Para cada una de las parcelas del ensayo se realizó una máscara excluyendo los bordes de la parcela, concretamente un metro por cada lado. A partir de esta máscara se obtuvieron los valores medios de los ND para cada banda y el valor medio de los índices y ratios.

El 16 de octubre se cosechó el ensayo obteniéndose el rendimiento en grano (Kg/ha) y se expresó éste a la humedad de referencia del 14 %.

La información obtenida de la imagen, valores medios de los ND, índices y ratios, se relacionó con los valores de rendimiento en grano obtenidos para cada una de las parcelas. La mejor de dichas relaciones se utilizó para obtener el mapa del rendimiento de la parcela adyacente no incluida en el ensayo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cultivo de arroz tiene la particularidad de que permanece inundado prácticamente durante toda la campaña. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta a la hora de la captura de las imágenes o medidas en campo, porque si la cobertura del cultivo no es suficiente, el agua puede tener una importante contribución en la respuesta espectral. En la fecha de captura de la imagen el nivel de agua en las parcelas oscilaba entre 6-8 cm y el cultivo emergía por encima del agua.

Las relaciones lineales entre el rendimiento del arroz y los niveles digitales en las 4 bandas, los índices NDVI y GNDVI y los ratio RR y RG en cada parcela fueron todas significativas con coeficientes de determinación mayores de 0,66 en todos los casos (Tabla 1, Figura 1).

Los coeficientes de correlación (r) fueron negativos para las bandas del verde, rojo y azul, pero positivos para el infrarrojo y para los índices y ratios. Para las relaciones entre el rendimiento y los niveles digitales de las 4 bandas, el valor más alto del coeficiente de determinación se obtuvo para la banda del verde (r²=0,74), y esta relación mejora para el índice GNDVI (r²=0,79) y para el ratio RG (r²=0,76) ambos utilizando la información de la banda del verde. Estos datos indican que hay una muy buena relación entre la información espectral obtenida en la banda del verde y el rendimiento.

Tabla 1. Coeficiente de determinación (r²) de la regresión lineal entre el rendimiento y los Niveles digitales de las 4 bandas (ND_B, ND_G, ND_R, ND_{NIR}), índices de vegetación y ratios y coeficientes de correlación entre estas variables.

	Banda/Índice	r ² (n=107)	r (n=107)
ND Bandas	ND _B	0,66	-0,81
	ND _G	0,74	-0,86
	ND _R	0,66	-0,82
	ND _{NIR}	0,72	0,85
Índices	NDVI	0,74	0,86
	GNDVI	0,79	0,89
Ratios	ND _{NIR} /ND _G	0,76	0,87
	ND _{NIR} /ND _R	0,71	0,84

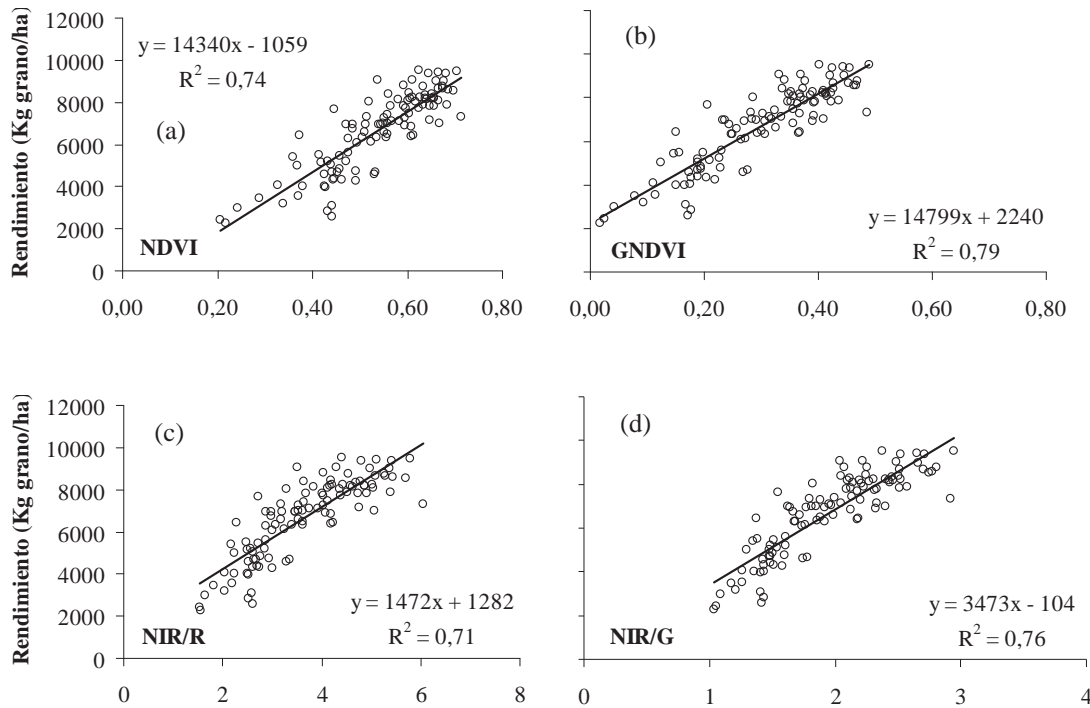


Figura 1. Relación entre el rendimiento del arroz (kg grano/ha) y los índices NDVI (a) y GNDVI (b) y los ratios NIR/R (c) y NIR/G (d).

Las relaciones ajustadas separadamente para los tratamientos de purín y los tratamientos minerales no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), lo que indica que estas relaciones son independientes de la fuente del nitrógeno, bien sea purín o fertilizante mineral. Este comportamiento no diferencial es importante de cara a posibles aplicaciones tanto para la estimación del rendimiento como para el ajuste de la fertilización nitrogenada.

Otros autores han encontrado también buenas relaciones del rendimiento del arroz con índices espectrales, por ejemplo Tubaña *et al.* (2012) obtuvieron buenas relaciones entre el índice NDVI y el rendimiento de arroz con información espectral obtenida antes de la emergencia de la panícula y Gilabert y Melia (1990) encontraron altos coeficientes de correlación ($r=0,80$) entre los índices NDVI y NIR/R y el rendimiento de un cultivo de arroz en la albufera de Valencia aunque en fases más tardías del desarrollo del cultivo (agosto).

Chang *et al.* (2005) determinaron que el mejor momento para relacionar la información espectral, medida con un radiómetro portátil, con el rendimiento del arroz es entre la formación de la panícula y su emergencia (booting), que coincide con el momento del vuelo del presente trabajo. Estos autores obtuvieron buenas correlaciones entre el rendimiento del cultivo y los índices GNDVI y NDVI y también con los ratios NIR/R y NIR/G, aunque la correlación entre el rendimiento y la banda del verde

fue muy baja, al contrario que en este trabajo. Estos autores ajustaron una ecuación para predecir el rendimiento del arroz en función de los ratios NIR/R y NIR/G, ya que estos últimos permitían una mejor separación de los tratamientos que los índices NDVI y GNDVI.

La buena relación encontrada entre el GNDVI y el rendimiento y su independencia del tipo de fertilización aplicada permitió obtener un mapa del rendimiento de la faja adyacente al ensayo (Figura 2). Este tipo de información puede ser relevante para el manejo agrícola de la parcela en el futuro. Además, la relación entre la información espectral (GNDVI, RG o ND_G) de las parcelas bien fertilizadas frente a las infra-fertilizadas podría utilizarse como herramienta de ajuste de las dosis de nitrógeno en cobertera antes de la emergencia de la panícula.

En la zona de estudio, la aplicación de la cobertera mineral se suele llevar a cabo durante o a finales del ahijado (finales de junio), pero sería posible retrasar su aplicación hasta 2-3 semanas. De esta manera, la utilización de imágenes multiespectrales podría servir como herramienta de ajuste de la fertilización, fertilizándose el cultivo en fondo antes de la siembra, y en cobertera antes de la emergencia de la panícula en aquellas parcelas que resulten deficitarias con la información proporcionada por la imagen.

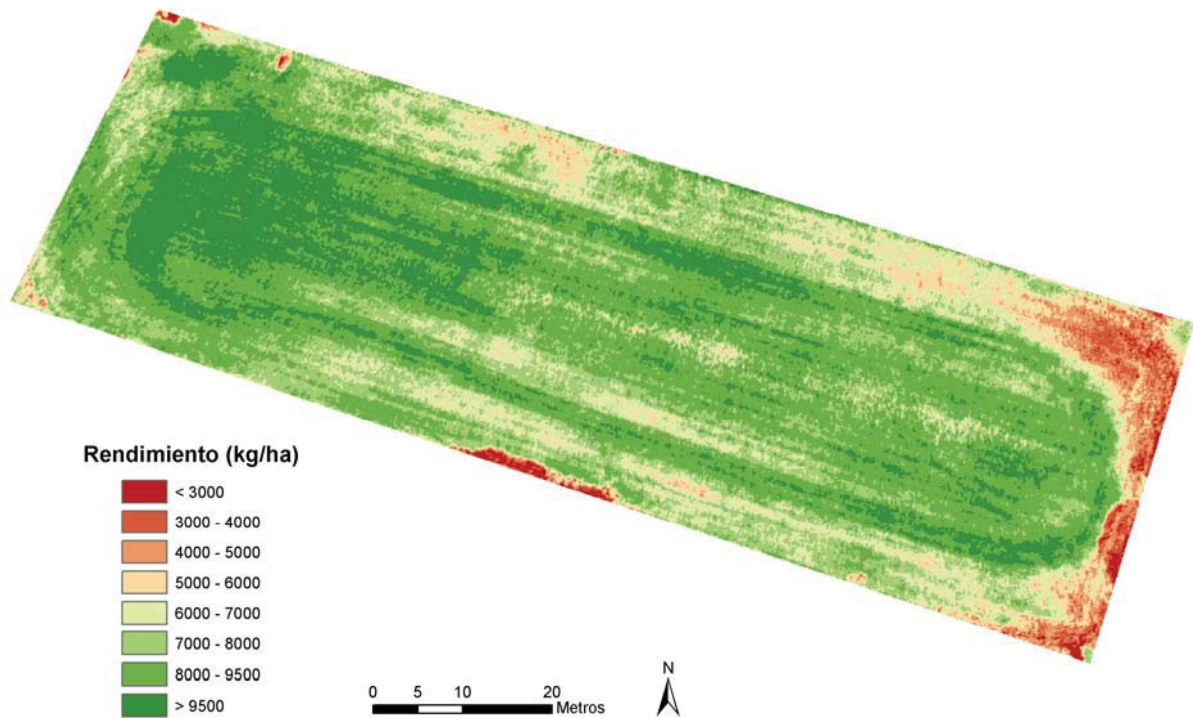


Figura 2. Mapa de rendimiento estimado a partir del GNDVI en la parcela adyacente al ensayo.

No obstante, ello requerirá de estudios complementarios y de la evaluación del comportamiento de imágenes más tempranas (1 o 2 semanas antes), con el objetivo de disponer de un mayor margen de tiempo para la aplicación de la cobertera.

4. CONCLUSIONES

La utilización de imágenes aéreas multiespectrales antes de la emergencia de la panícula parece una herramienta prometedora para la estimación de rendimiento en arroz y como ajuste de la fertilización nitrogenada. Los valores de niveles digitales en el verde y los índices y ratios asociados a este ND son los que ofrecen una mayor relación con el rendimiento.

Estas relaciones son independientes de la fuente de nitrógeno, purín o fertilizante mineral, utilizada en el abonado.

El estudio corresponde a una única campaña, así que sería importante la realización de más estudios en los años sucesivos, así como estudiar la posibilidad de realizar imágenes más tempranas.

5. BIBLIOGRAFÍA

CHANG, K. W., SHEN, Y., LO, J.C. 2005. *Predicting rice yield using canopy reflectance measured at booting stage*. *Agronomy Journal* 97: 872-878.

GILABERT, M. A., MELIÁ, J. 1990. *Usefulness of the temporal analysis and the normalized difference in the*

study of rice by means of landsat-5 TM images: Establishment of Relationships for Yield Prediction Purpose. *Geocarto International* 5: 27-32.

MAGRAMA. 2012. *Datos de producciones agrícolas*. <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/> (18 Abril 2013).

RYU, C., SUGURI, M., UMEDA, M. 2009. *Model for predicting the nitrogen content of rice at panicle initiation stage using data from airborne hyperspectral remote sensing*. *Biosystems Engineering* 104: 465-475.

TUBAÑA, B. S., HARREL, D. L., WALKER, T., TEBOH, J., LOFTON, J., KANKE, Y. 2012. *In-season canopy reflectance-based estimation of rice yield response to nitrogen*. *Agronomy Journal* 104: 1604-1611.

XUE, L. H., CAO, W. X., LUO, W. H., DAI, T. B., ZHU, Y. 2004. *Monitoring leaf nitrogen status in rice with canopy spectral reflectance*. *Agronomy Journal* 96: 135-142.

6. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria y Fondos Feder (Proyecto RTA_2010-0126-C02-01). También se agradece al INIA la concesión de una beca FPI a Doña Beatriz Moreno. Los autores agradecen a Rosa Gómez el trabajo realizado en el procesado de la imagen.