



# Fertilización nitrogenada orgánica y mineral del cultivo de arroz en Aragón

En el ensayo se evaluaron dos dosis de purín porcino aplicadas antes de la siembra

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

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Zaragoza.

En este artículo se presentan los resultados de un ensayo que ha tenido como objetivo evaluar el aprovechamiento agronómico del purín de cerdo como abonado de fondo en cultivo de arroz en inundación y comparar los resultados con los obtenidos con la fertilización habitual de los agricultores en la zona. Además se ha investigado la posibilidad de utilizar imágenes tomadas desde un avión con un sensor multispectral antes de la emergencia de la panícula del arroz, para estimar el rendimiento del cultivo y detectar la existencia de posibles deficiencias nutricionales.

**E**l uso de nitrógeno (N) 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 amoníaco y gases de efecto invernadero. La

programación del abonado nitrogenado necesita integrar la gestión de las deyecciones ganaderas, sobre todo en zonas con una alta densidad de explotaciones como es el nordeste de España, Aragón y Cataluña concentran el 52% de la cabaña porcina (13,7 millones de cabezas, Magrama, 2014). Además, en los últimos años, se han ido aprobando diferentes Directivas y Reglamentos a nivel europeo relacionados con la fertilización de los cultivos, entre ellos destacan la Directiva de protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias (Directiva 91/676), la directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/EC) o la Directiva de techos de emisión de contaminantes atmosféricos (Directiva 2001/81/CE). En este contexto la aplicación agrónicamente razonada de los fertilizantes tanto de origen animal (orgánicos) como inorgánicos es una necesidad que, además de aumentar el beneficio de las explotaciones, puede ayudar a reducir el riesgo de contaminación de las aguas por nitratos, y ser un buen instrumento para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En España se cultivan 110.785 ha de arroz, de las cuales el 7,65% se ubican en Aragón (Magrama, Esyrce 2014) y dentro de esta comunidad el 89% cultivado corresponde a la variedad Guadamar con un ciclo de cultivo adaptado a las condiciones climáticas que se dan en la zona. La fertilización habitual de los agricultores consiste en una aplicación antes de sembrar con aproximadamente las dos terceras partes de la dosis total en forma de urea (unos 300 kg de urea, 120 kg N/ha) y el resto (unos 50 kg N/ha) en una cobertera generalmente de sulfato amónico (unos 250 kg/ha de sulfato amónico) que se aplica al final del ahijado o inicio de encañado.

Muchos estudios indican que la apli-

cación de purín en distintos cultivos permite alcanzar producciones satisfactorias pudiendo sustituir total o parcialmente a los fertilizantes minerales. En la cuenca del Ebro, este hecho también ha sido constatado en cultivos de regadío como maíz (Daudén y Quílez, 2004; Yagüe y Quílez, 2010, Iguacel y col., 2010) y cereales de invierno en secano (Yagüe y col., 2015). El uso de purines como fertilizante en el cultivo de arroz no está muy extendido y existen muy pocos trabajos sobre la fertilización orgánica de este cultivo en España. El abonado realizado por los arroceros mediante fertilizantes orgánicos no está sujeto a ningún criterio científico debido a la falta de información. En Aragón, el único trabajo que se ha podido encontrar es el de Lecifena y col. (1996) que concluyó que el nitrógeno aportado en forma de compost y purín a un cultivo de arroz inundado se aprovechaba menos eficientemente que el aportado con el fertilizante mineral.

## La programación del abonado nitrogenado necesita integrar la gestión de las deyecciones ganaderas sobre todo en zonas con una alta densidad de explotaciones ganaderas

Así, un primer objetivo de este trabajo ha sido evaluar el aprovechamiento agrónomo del purín de cerdo como abonado de fondo en cultivo de arroz en inundación y comparar los resultados con los obtenidos con la fertilización habitual de los agricultores en la zona de estudio.

Por otro lado la teledetección desde plataformas remotas se ha utilizado para predecir el rendimiento del arroz con buenos resultados y podría también utilizarse como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en el ajuste de la fertilización nitrogenada en cobertera. Por ello un segundo objetivo ha sido investigar la posibilidad de utilización de imágenes tomadas desde un avión con un sensor multiespectral (en el visible e infrarrojo cercano), antes de la emergencia de la panícula del arroz, para estimar el rendimiento del cultivo 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.

## Ensayo experimental

El ensayo se realizó en la localidad de Villanueva de Sigena (Huesca, España), en el año 2012 en tres fajas con una superficie total de 1,5 ha. Se evaluaron dos dosis de purín porcino aplicadas antes de la siembra: la primera una dosis de purín equivalente a 120 kg N/ha (P1) que se corresponde con las cantidades aplicadas habitualmente en fondo por los agricultores en la zona, y la segunda una dosis de purín equivalente a 170 kg N/ha (P2) que se corresponde con las necesidades totales de N del cultivo. Estas dos dosis de purín se complementaron con seis dosis de fertilizante mineral, de 0 a 150 kg N/ha, aplicado en la fase de ahijado. Además como referencia para poder valorar la eficiencia del N contenido en las dos dosis de purín se utilizaron tratamientos con N mineral, sin aplicación de purín (P0). Las cantidades de N aplicadas en estos tratamientos minerales oscilaron entre 0 y 240 kg N.

El purín procedía de una granja de cebo y las dosis a aplicar se establecieron en función del contenido de N amoniacal del purín medido in situ por conductimetría siguiendo la metodología de Yagüe y col.



Foto 2. Foto de una faja del ensayo el 25 de junio de 2012. A la izquierda se puede ver una banda fertilizada con la dosis de purín alta y a la derecha una banda donde se aplicó fertilizante mineral donde se aprecian las parcelas con distintas tonalidades de verde relacionadas con las distintas dosis de nitrógeno aplicadas en cada una de ellas.

(2008). El contenido de N amoniacal del purín fue de 3,5 kg/m<sup>3</sup> y las cantidades de purín a aplicar se establecieron en 35 t/ha

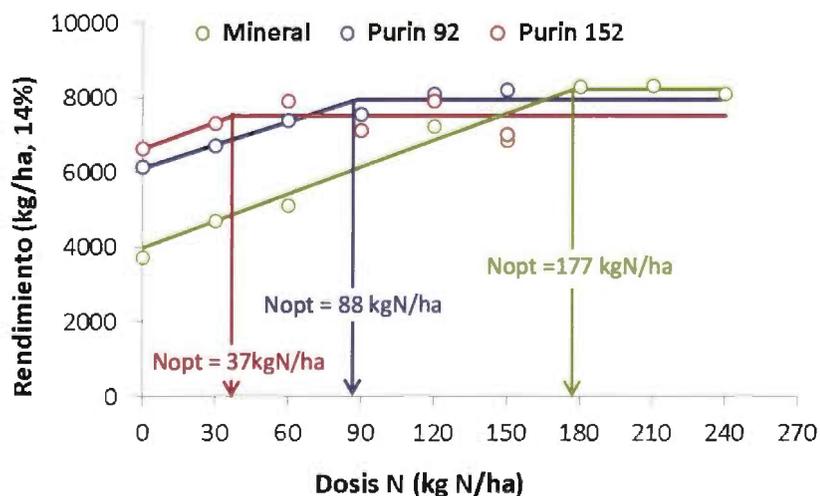
para la dosis de 120 kg N/ha y en 50 t/ha para la dosis de 170 kg N/ha. El purín se aplicó el 15 de mayo de 2012 con una má-

quina de tubos colgantes de 4,8 m de anchura (foto 1). Las cantidades de purín realmente aplicadas en campo fueron ligeramente inferiores a las cantidades objetivo, de manera que las dosis de N aplicadas, 92 kg N/ha en P1 y 152 kg N/ha en P2, también fueron algo inferiores a las dosis objetivo de 120 y 170 kg N/ha. A continuación de la aplicación del purín se procedió a la aplicación del N (urea) en los tratamientos minerales junto con 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (superfosfato 45%) y 100 kg de K<sub>2</sub>O/ha (KCl al 60 %) y seguidamente se incorporó al suelo el purín y el abono mineral.

El 16 de mayo se sembró la parcela con arroz de la variedad Guadiamar, con una densidad de siembra de 150 Kg/ha, y seguidamente se procedió a inundar las parcelas que permanecieron inundadas desde la siembra hasta un mes antes de la cosecha, realizándose un par de secas para llevar a cabo tratamientos herbicidas. El abonado de cobertera (sulfato amónico) se aplicó al final del ahijado, el 4 de julio de 2012. El ensayo se cosechó el 6 de octubre obteniéndose el rendimiento en grano (kg/ha) que se expresó a la humedad de referencia del 14%.

Una vista general de una de las fajas el ensayo se puede ver en la foto 2 donde se aprecian las bandas de purín y fertilización mineral. En el ensayo se utilizaron cuatro repeticiones de cada una de las bandas con un total de 27 tratamientos en cada repetición (108 parcelas).

**FIG 1.** Respuesta del rendimiento del arroz a la fertilización mineral (verde) y a la aplicación de fertilizante mineral en cobertera en los dos tratamientos de purín (azul y rojo)



## Respuesta del arroz a la fertilización orgánica y mineral

El año 2012 fue un año bueno desde el punto de vista productivo y se obtuvieron rendimientos de arroz (cáscara) de alrededor de 8.000 kg/ha. En el caso de la fertilización mineral los datos muestran que el rendimiento máximo se obtuvo con una dosis de nitrógeno de 177 kg N/ha. En el caso del purín en la dosis más baja (92 kg N/ha aplicado con el purín) fue necesario aplicar 88 kg N/ha en cobertera para obtener el

(Continúa en pág. 66)

## CUADRO I

RENDIMIENTO EN MOLINO Y CALIDAD DEL ARROZ EN EL TRATAMIENTO MINERAL Y EN LOS DOS TRATAMIENTOS DE PURÍN.

	Rotos %	Descartados %	Rendimiento molino (%)	Consistencia de gel (mm)	Contenido de Amilosa (%)
Mineral	18,8	8,5	53,2	79	8,3
Purín 92	18,2	10,3	52,9	77	9,4
Purín 152	22,4	7,8	51,4	80	7,5

rendimiento máximo y en el caso de la dosis más alta de purín de 152 kg N/ha se obtuvo el rendimiento máximo con la aplicación de 37 kg N/ha (figura 1).

La cantidad mínima de N necesaria para obtener el rendimiento máximo fue semejante en la fertilización mineral y en la fertilización con purín. En el caso de la dosis baja de purín esta cantidad fue de 180 kg N/ha (92 kg N/ha del purín + 88 kg N/ha fertilización mineral) y en el caso de la dosis alta esta cantidad fue de 188 kg N/ha (151 kg N/ha del purín + 37 kg N/ha fertilización mineral). Estos valores son semejantes a la cantidad óptima de 177 kg N/ha obtenida para la fertilización mineral. Es decir, el nitrógeno amoniacal aplicado con el purín porcino se utiliza con la misma eficacia por el cultivo de arroz que el aplicado en forma de fertilizante mineral.

La aplicación de purín no afectó a la germinación del arroz ni a la densidad de malas hierbas (ciperáceas, *Echinochloa* y hoja ancha) ni al ataque de plagas (*Piricularia* y chilo). Tampoco afectó al rendimiento en molino ni a la calidad culinaria del arroz (cuadro I).

### Utilización de imágenes multiespectrales para estimar el rendimiento del cultivo

El 30 de julio, antes de la emergencia de la panícula, se realizó un vuelo comercial (por RS Servicios de Teledetección) que proporcionó imágenes con resolución espacial de 0,1 m, en cuatro bandas, azul (A, 440-460 nm), verde (G, 540-560 nm), rojo (R, 665-685 nm) e infrarrojo cercano (NIR, 770-

790 nm). A partir de esta información se calcularon cuatro índices: 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). Estos cuatro índices se seleccionaron por su relación con el contenido de nitrógeno y rendimiento del cultivo (Gilbert y Melia, 1990) (expresión 1).

El cultivo de arroz tiene la particularidad de que permanece inundado prácticamen-

te durante toda la campaña. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta para programar la toma de imágenes o de medidas radiométricas en campo y también en su interpretación, 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 30 de julio el nivel de agua en las parcelas oscilaba entre 6-8 cm y el cultivo emergía por encima del agua.

Sobre la información proporcionada por la imagen se superpusieron las parcelas de cada uno de los tratamientos. Para evitar recoger en la imagen las posibles interferencias de una parcela con las adyacentes, se seleccionó en cada parcela una superficie interior, eliminado 1 m desde cada uno de los bordes hacia el centro de la parcela. Para esta superficie interior de cada una de las parcelas (108 parcelas) se ob-

### Expresión 1

$$NDVI = \left( \frac{NIR - R}{NIR + R} \right) \quad GNDVI = \left( \frac{NIR - G}{NIR + G} \right) \quad RR = \left( \frac{NIR}{R} \right) \quad RG = \left( \frac{NIR}{G} \right)$$

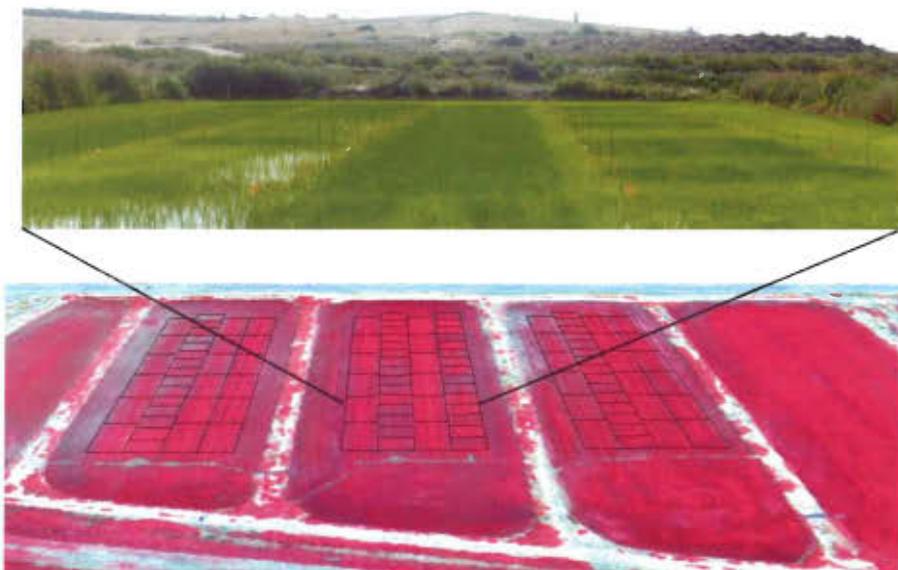
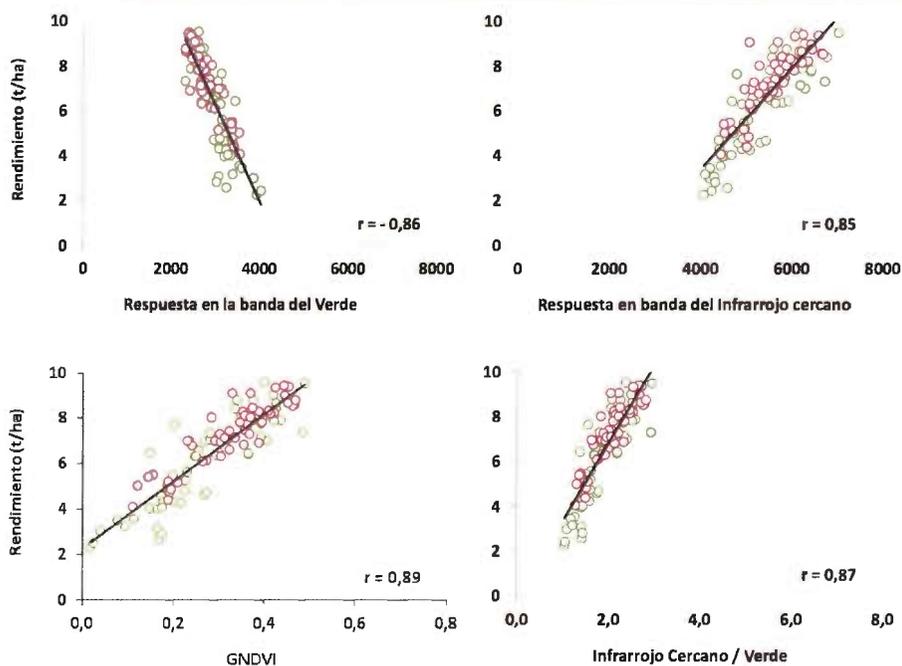


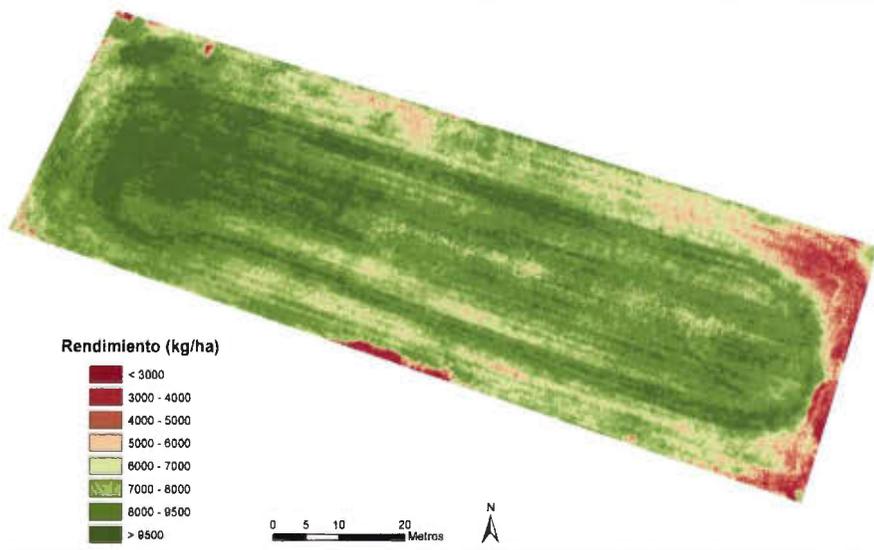
Foto 3. Foto del ensayo con los diferentes bandas y tratamientos de fertilización y la correspondiente imagen aérea multiespectral sobre la que se han superpuesto las parcelas.

**FIG 2.** Relación entre el rendimiento del arroz y la información recogida en las bandas del verde y el infrarrojo cercano (gráficas superiores) y entre el rendimiento y el índice de vegetación normalizado del verde (GNDVI) y la relación entre el infrarrojo cercano y el verde (gráficas inferiores).



En color verde se representan las parcelas donde se aplicó únicamente fertilización mineral y en color rojo las parcelas donde se aplicó purín.

**FIG 3.** Mapa de rendimiento del arroz en la parcela adyacente al ensayo estimado a partir de la información del índice de vegetación GNDVI.



tuvo la respuesta espectral media en cada una de las cuatro bandas y a partir de los valores medios de las bandas se calcularon los valores medios de los cuatro índices (NDVI, GNDVI, RV, RR). En la foto 3 se puede observar la imagen en falso color con las parcelas superpuestas y su correspondencia con la foto de una de las fajas del ensayo.

Se ha observado que existe una estrecha relación entre la información recogida en las cuatro bandas seleccionadas y el rendimiento del arroz. Las relaciones son negativas para las bandas del azul, rojo, y verde, es decir, cuanto más vigoroso está el cultivo menor es su respuesta en estas tres bandas. Sin embargo, las relaciones con el rendimiento son positivas para las bandas del infrarrojo cercano y para los cuatro índices. Es decir, cuánto más alto es el rendimiento del cultivo más alta es su respuesta en el infrarrojo cercano y más alto es el valor de los índices seleccionados.

Las relaciones más estrechas se obtienen para las bandas del verde (coeficiente de correlación  $r = -0,86$ ) y el infrarrojo cercano ( $r = 0,85$ ). Estas relaciones mejoran para el índice GNDVI ( $r = 0,89$ ) y la relación infrarrojo cercano/verde RG ( $r = 0,87$ ), ambos utilizando la información de la banda del verde. El índice NDVI ha sido el índice de vegetación más utilizado para establecer el estado de los cultivos porque maximiza la sensibilidad a la variación de la densidad vegetal debido al contraste entre la absorción en el rojo de los pigmentos clorofílicos y la alta reflectancia en el infrarrojo cercano debido a la estructura de las células. Sin embargo, en el cultivo de arroz la mayor sensibilidad se obtiene en la banda del verde en lugar de la del rojo. Otros autores (Chang y col., 2005) también han encontrado en el caso del cultivo del arroz una mejor relación entre el rendimiento y la información derivada de la banda del verde (GNDVI) que entre el rendimiento y la información derivada de la banda del rojo (NDVI). Estos datos indican que hay una

my buena relación entre la información espectral obtenida en la banda del verde y el rendimiento del arroz.

La relación entre el rendimiento del arroz y la información obtenida de la imagen multiespectral es independiente del tipo de fertilización: con purín (**figura 2**, puntos rojos) o únicamente con fertilizante mineral (**figura 2**, puntos verdes), lo que indica que las relaciones obtenidas son independientes de la fuente de nitrógeno. Se puede observar en la **figura 2** que los valores más bajos del rendimiento (eje Y) se corresponden con puntos verdes (fertilización mineral); esto es debido que los tratamientos más deficitarios en nitrógeno ( $N < 90$  kg N/ha), fueron todos de fertilización mineral (en todos los tratamientos de purín al menos se aplicaron 92 kg N/ha con el purín). Este comportamiento no diferencial entre la fertilización mineral y la fertilización con purín porcino es importante de cara a posibles aplicaciones, tanto para la estimación del rendimiento como para el ajuste de la fertilización nitrogenada.

Como ejemplo de posibles aplicaciones de la información espectral se obtuvo un mapa del rendimiento del arroz en la faja adyacente al ensayo (**figura 3**) basado en la relación encontrada entre el GNDVI y el rendimiento y su independencia del tipo de fertilización. Este tipo de información puede ser relevante para el manejo agrícola de la parcela en el futuro.

Además, la relación entre la información espectral (G, GNDVI o RG) de las parcelas bien fertilizadas frente a las infra-fertilizadas podría utilizarse como herramienta de ajuste de las dosis de N en cobertera, antes de la emergencia de la panícula. De esta manera, la utilización de imágenes multiespectrales podría servir como herramienta de ajuste del N, fertilizándose el cultivo en cobertera antes de la emergencia de la panícula en las parcelas que resultaran deficitarias según la información proporcionada por la imagen.

En la zona de estudio, la aplicación de

la cobertera mineral se suele llevar a cabo en fase de ahijado, por lo que se considera importante evaluar la información proporcionada por imágenes más tempranas y establecer su relación con el rendimiento del cultivo, aspectos que se abordarán en futuros trabajos. ■

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria (INIA) y Fondos FEDER (Proyecto RTA\_2010-0126-C02-01). También se agradece al INIA la concesión de una beca FPI a Doña Beatrix Moreno. Los autores agradecen a Rosa Gómez el trabajo realizado en el procesamiento de la imagen.

## Conclusiones

**E**n la fertilización del arroz inundado con purín porcino el cultivo utiliza con la misma eficiencia el nitrógeno amoniacal aplicado con el purín que el N aplicado con un fertilizante mineral ureico. Con una dosis de purín ajustada a las necesidades del cultivo aplicada en fondo se pueden obtener los rendimientos potenciales sin necesidad de aplicar fertilizante mineral en cobertera.

No se ha observado que la fertilización del arroz con purín porcino afecte al rendimiento en molino ni a la calidad del grano a la cocción. La utilización del purín en cultivo de arroz tampoco afecta a la proliferación de malas hierbas ni aumenta el riesgo de afección plagas (chilo) y enfermedades (piricularia). Hay que mencionar que en ensayos adicionales se ha observado que el chilo tiene una mayor incidencia en parcelas sobrefertilizadas en nitrógeno pero esa incidencia es independiente de si la sobrefertilización proviene de purín o del fertilizante químico. Por eso es muy importante ajustar las dosis de N a las necesidades del cultivo y contabilizar el N aportado con las deyecciones ganaderas, como el purín, en la planificación de la fertilización del arroz para minimizar estos riesgos.

La información aportada por imágenes aéreas multiespectrales antes de la emergencia de la panícula es una buena herramienta para estimar el rendimiento en arroz y es una metodología prometedora para el desarrollo de herramientas de ajuste de la fertilización nitrogenada. Los valores de la respuesta en la región del verde y los índices asociados al color verde son los que ofrecen una mayor relación con el rendimiento y los que presentan un mayor potencial para ser utilizados en el desarrollo de estas herramientas. Estas relaciones son independientes de la fuente de nitrógeno, purín o fertilizante mineral, utilizada en la fertilización, lo que es importante a la hora de la aplicación práctica de estas herramientas.

El estudio corresponde a una única campaña, así que sería importante dar continuidad a estos trabajos para contrastar las variaciones estacionales. También se propone analizar la información recogida en imágenes más tempranas, como al final del ahijado, y establecer una relación con el rendimiento más ajustada temporalmente a la aplicación habitual de la cobertera en la zona.