

# Gestión agronómica y medioambiental del regadío del Valle Medio del Ebro: evaluación de las buenas prácticas en el maíz

*Wafa Malik, Ramón Isla y Farida Dechmi*

*Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC). Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Avda. Montañana, 930 50.059 Zaragoza (España). fdechmi@aragon.es*

## INTRODUCCIÓN

Existe una preocupación creciente por la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por nitratos proveniente de los sistemas agrícolas, debido a sus efectos nocivos sobre la salud humana y la eutrofización de las aguas continentales y costeras. Además, la fertilización nitrogenada excesiva conduce a mayores emisiones de óxido nitroso, un gas con un potente efecto invernadero. En Aragón, la degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas se ha manifestado por un aumento del 34% de la superficie agraria declarada como vulnerable del 2013 al 2018 (IGEAR, 2019). La modernización de los regadíos ha disminuido la masa de nitrato que se pierde por lavado. Sin embargo, sigue siendo necesario un manejo más eficiente de los insumos de producción de los principales cultivos que permita aumentar o mantener los rendimientos agrícolas y asegurar la sostenibilidad de los sistemas agrarios, especialmente en las regiones áridas y semiáridas como el Valle Medio del Ebro, donde el regadío es básico para tener una agricultura competitiva y rentable. El cultivo de maíz sigue teniendo una gran importancia en los grandes sistemas regables de Aragón, y se caracteriza por un elevado potencial productivo (+15 t/ha de grano) y con unas necesidades elevadas de fertilizante nitrogenado para conseguir alcanzar esos altos rendimientos. El objetivo de este trabajo es evaluar distintos escenarios de manejo de la dosis del agua de riego y de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz (Foto 1) para determinar sus impactos medioambientales y determinar las prácticas más adecuadas que permiten minimizar la contaminación por nitratos, pero manteniendo un rendimiento adecuado de los cultivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio considerada se localiza dentro del Sistema de Riegos del Alto Aragón (Huesca, España). Tiene

Foto 1. Medición de datos fenológicos necesarios para el ajuste del modelo de cultivo DSSAT.



una superficie total regada mediante sistemas de riego presurizado de 1355 ha. El maíz es el cultivo principal de la zona, suponiendo en promedio un 43% de la superficie total cultivada. Previamente se realizó un estudio de los suelos, permitiendo distinguir tres diferentes tipos de suelos en este regadío: (1) suelos de plataforma, que representan el 39% del área total, caracterizados por su escasa profundidad (0,6 m en promedio), presencia de un horizonte calcáreo bajo la superficie y alto contenido de piedras, (2) suelos aluviales superficiales (50% del área), en su mayoría libres de piedras y con una profundidad del suelo que varía de 0,6 m a 0,9 m; y (3) suelos aluviales profundos (11% del área), similar al precedente pero con profundidades de suelo que varían de 0,9 a 1,2 m. Esta clasificación en tres grandes grupos se ha realizado para diferenciar los suelos por su capacidad de retención de agua. Los datos meteorológicos necesarios se han obtenidos a partir de la estación meteorológica de la red SIAR localizada en el municipio de Huerto (Huesca), situada a unos 6 km de la zona de estudio

Para llevar a cabo el objetivo de este trabajo, se utilizó el modelo de cultivo conocido como Sistema de Apoyo para Decisiones de Transferencia de Agrotecnología (DSSAT en sus siglas en inglés) previamente calibrado y validado para

el maíz híbrido “Pioneer PR34N43” en las condiciones del Valle Medio del Ebro (Malik et al., 2019). Este modelo es uno de los más utilizados en el mundo para evaluar aspectos medioambientales a escala de parcela agrícola. Mediante este modelo, se ha contemplado la modificación de las prácticas de riego y del fertilizante nitrogenado, denominándolos ESCENARIOS de manejo. Dichos escenarios se han aplicado a los 3 tipos de suelo de la zona de estudio.

■ **Escenarios de manejo del riego**

Se compararon dos tipos de manejo del riego a un cultivo de maíz ‘Pioneer PR34N43’ en los tres tipos de suelos:

1º.- El manejo real realizado por los agricultores de la zona de estudio durante los años 2008 y 2009 (años en los cuales se dispone del calendario real de riego aplicado al cultivo de maíz).

2º.- El riego ‘automático cuando se requiere’ disponible en el modelo DSSAT (en adelante riego ajustado). En este caso el modelo aplica riego únicamente cuando el suelo ha agotado su nivel de agua por dejado de un cierto nivel, para evitar estrés hídrico que podría perjudicar al crecimiento y al rendimiento del maíz.

Para todas las simulaciones realizadas, se consideró los datos medios del manejo del cultivo de maíz recogidos a

partir de las 17 encuestas realizadas a los agricultores de la comunidad de regantes de la zona durante varios años seguidos (2008 a 2013).

■ **Escenarios de manejo de la fertilización nitrogenada**

En este caso se ha comparado el manejo tradicional de la fertilización nitrogenada con una fertilización más ajustada de acuerdo a las recomendaciones que se están dando en el Valle medio del Ebro para el maíz en regadío en sistema de aspersión (Isla et al., 2008; Lloveras et al., 2010). Se simuló estos dos manejos en los 3 tipos de suelo de la zona con distintos niveles iniciales (Bajo, Medio, y Alto) del nitrógeno mineral en el suelo y para 10 años (del 2004 al 2013).

El manejo tradicional del fertilizante nitrogenado se ha determinado a partir de las encuestas realizadas en la zona de estudio a 17 agricultores durante los años 2008 al 2013, en las que se obtuvieron los datos de las dosis y las fechas de aplicación más usuales. Con esta información, se determinó una cantidad media de fertilizante nitrogenado de 390 kg N/ha fraccionada en 3 periodos. Así, antes de la siembra (primera semana de abril) se aplican unos 70 kg N/ha como abono de fondo, más adelante, 250 kg N/ha de abono de primera cobertera (principios de junio) y 70 kg N/ha de abono en la segunda cobertera (principios de julio). ▶▶▶

# Caruelle STILLA 460 Pulverizador arrastrado

- Capacidad del depósito: 4.600 l
- Barras de 24 a 44 m con sistema antilátigos y absorción de las inercias horizontales en los giros
- Circulación adaptada a todos los caudales, que permite trabajar a caudales bajos sin sedimentación del producto y con mayor calidad de pulverizado
- Control del pulverizado para agricultura de precisión: control automático de tramos y aplicación de dosis variable
- Compatible ISOBUS; pantalla de trabajo y GPS integrado
- Incorporador de producto de fácil acceso y medidor de fácil lectura
- Chasis corto con suspensión libre de mantenimiento y distribución de cargas uniforme
- Centro de gravedad más bajo del mercado que minimiza la probabilidad de vuelco
- Pantalla táctil para una incorporación completamente automatizada
- Eje seguidor de gestión electrónica y con corrección de pendientes en opción
- Sistema opcional de control automático de altura de barra














Tel. +34 982 227 165  
www.duranmaquinaria.com




Para el manejo optimizado se consideró la aplicación de una cantidad fija de 250 kg N/ha aplicada en 3 fechas bien definidas: 50 kg N/ha como abono de fondo (principios de abril), 100 kg N/ha en la primera cobertera (15 de junio; maíz con 6 hojas) y 100 kg N/ha en la segunda cobertera (10 de julio; maíz con 12-14 hojas). De acuerdo a estudios previos en el valle medio del Ebro, fundamentalmente en regadíos de Aragón y Cataluña, se considera que puede ser suficiente para obtener las producciones máximas de maíz en la mayor parte de las situaciones. Hay que señalar que en determinadas situaciones (maíz tras alfalfa o tras consecutivas aplicaciones de fertilizantes orgánicos) las dosis recomendables pueden ser menores que la utilizada en este estudio.

Para cada año considerado, se consideró un riego ajustado a las necesidades de agua del cultivo netas (NAC) en todas las simulaciones realizadas. Las NAC diarias fueron calculadas como la diferencia entre la evapotranspiración diaria del cultivo (ETc) y la precipitación efectiva diaria ( $P_{ef}$ ). Además de la simulación de escenarios de manejo de las dosis, se ha considerado la posible variación en el nivel inicial del nitrógeno mineral en el suelo. La distribución por profundidades y la cantidad total que se ha supuesto se muestran en la Tabla 1.

### ■ Variables estudiadas

Las variables analizadas en ambos casos han sido el rendimiento en grano (kg grano/ha), el nitrógeno extraído por la planta (kg N/ha), los nitratos perdidos por lavado por debajo de la última capa de suelo (kg N/ha), y la cantidad de nitratos residual en el suelo después de la cosecha (kg N/ha). A partir de los resultados de las simulaciones se estimó la eficiencia en el uso del agua en cada uno de los escenarios como la relación entre el rendimiento de grano y el agua aplicada mediante riego y la eficiencia en el uso del N en cada uno de los escenarios como la relación entre el rendimiento de grano y el N aplicado mediante fertilizante.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

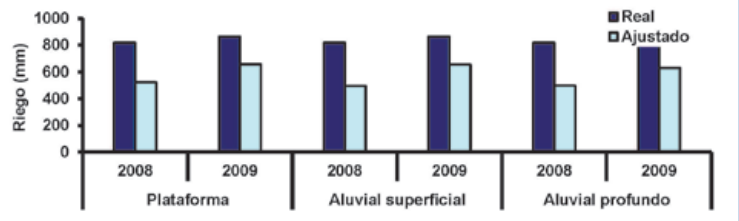
### ■ Escenarios de manejo del riego

La simulación del riego indica que es posible un ahorro muy importante de agua en comparación con el riego real que aplicaron los agricultores en dicha zona de estudio (Fig.1). En promedio, se puede ahorrar 313 mm en el año 2008 y 216 mm en el 2009. Si bien hay que señalar que es posible que los híbridos de maíz utilizados por los agricultores del polígono de riego tengan, en promedio, un ciclo algo mayor, lo que supone que el ahorro de agua en toda la zona podría ser menor que el valor indicado y obtenido en esta simulación. Por otra parte, los resultados indicaron que no hay diferencias significativas en el rendimiento en grano de maíz simulado

**Tabla 1. Cantidad y distribución en profundidad de nitrógeno mineral en el suelo antes de la siembra para los 3 escenarios de nitrógeno inicial (bajo, medio y alto) y en los 3 tipos de suelo utilizados en la simulación (plataforma, aluvial superficial y aluvial profundo).**

Prof. (m)	Plataforma			Aluvial superficial			Aluvial profundo		
	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto
	----- kg N/ha -----								
0,0 - 0,3	30	60	90	30	60	90	30	60	90
0,3 - 0,6	20	40	60	20	40	60	20	40	60
0,6 - 0,9	-	-	-	10	20	40	15	30	40
0,9 - 1,2	-	-	-	-	-	-	5	10	20
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>190</b>	<b>70</b>	<b>140</b>	<b>210</b>

**Figura 1. Comparación entre la dosis de riego estacional real y simulada con el modelo DSSAT para cada tipo de suelo (plataforma, aluvial superficial y aluvial profundo) en los años 2008 y 2009.**



bajo el riego real y dosis de riego ajustada para los diferentes años y tipos de suelo (15.000 kg/ha en 2008 y 12.500 kg/ha en 2009 de promedio), indicando que se puede obtener rendimientos similares utilizando menores cantidades de agua de riego.

La media de la eficiencia en el uso del agua con el riego real (promedio de 3 tipos de suelo) en 2008 ha sido de 19 kg/mm mientras que con el riego ajustado ha sido de 30 kg/mm. Del mismo modo, en 2009 la eficiencia en el uso del agua ha sido con el riego real de 14 kg/mm mientras con el riego ajustado fue de 19 kg/mm (Tabla 2). Por lo tanto, la eficiencia en el uso del agua ha sido siempre mayor con el riego ajustado que con el riego real aplicado. Por ello, ajustando el riego teniendo en cuenta la capacidad de retención el agua en el suelo y los valores reales de evapotranspiración permite aumentar la eficiencia del uso del agua en comparación con la gestión real de los productores de maíz en la zona de estudio. Estos ajustes en las dosis de riego pueden realizarse sin necesidad de utilizar complejos modelos de cultivo como el que se ha utilizado en este estudio, pero si utilizando las dosis de riego calculadas (en el caso de Aragón) a través de la página web de la Oficina del regante (SARGA, Gobierno de Aragón) y considerando la humedad inicial del suelo.

Con un riego real, el volumen de agua de drenaje simulado por el modelo para el promedio de los 3 tipos de suelo fue de 165 mm y de 134 mm para los años 2008 y 2009, respectivamente, siendo el drenaje medio de 2008-2009 el más elevado en un suelo de plataforma (171 mm; 1710 m<sup>3</sup>/ha) frente al promedio de los suelos aluviales (138 mm; 1380 m<sup>3</sup>/ha) debido a las diferencias entre ambos tipos de

suelo. En cuanto al riego ajustado simulado, el volumen de agua drenado fue muy pequeño a nulo (Tabla 2), ya que el modelo aplica la cantidad de agua suficiente para rellenar el suelo hasta su valor de capacidad de campo. Hay que señalar que, en condiciones reales, podría ser recomendable dosis algo mayores que las recomendadas mediante el “riego ajustado” para aumentar la fracción de lavado y la acumulación de sales del agua de riego en el perfil del suelo. Este aumento debería ser mayor al aumentar la salinidad del agua de riego, y en las zonas que reciben menos agua de lluvia.

En el caso del manejo real, la cantidad del nitrógeno extraída por el maíz fue de 291 kg N/ha en el 2008 mientras que el riego ajustado fue muy similar, superándolo en tan sólo 3 kg N/ha. No obstante, en 2009 las cantidades extraídas por el maíz fueron iguales en ambos manejos de riego (274 kg N/ha). Por lo tanto, se puede decir que los dos diferentes manejos del riego no afectan a las cantidades del nitrógeno extraídas por la planta, pues los rendimientos son prácticamente idénticos de acuerdo a las simulaciones. Por otra parte, el lavado de nitratos fue nulo con un riego ajustado salvo el caso del suelo de plataforma en el 2008 donde el lavado fue de 17 kg N/ha. En relación con el riego real simulado, el lavado de nitrato fue importante con valores que oscilaron

entre 20 y 43 kg N/ha.

La cantidad media de nitratos perdida por lavado (en promedio para los 3 tipos de suelo) en el escenario de manejo real fue de 34 kg N/ha. Esta cantidad es similar a la medida en las cuencas de riego del Valle del Ebro donde se midieron cantidades anuales de nitrógeno perdido por lavado de 25 a 50 kg N/ha en zonas regadas por aspersión (Tedeschi et al., 2001; Cavero et al., 2003). Considerando que en el valor aportado en este trabajo se incluyen únicamente las pérdidas durante el periodo de cultivo, mientras que en los estudios citados las pérdidas por medidas eran anuales, incluyendo el periodo intercultivo.

En cuanto al nitrato residual en el suelo, los resultados indican que fue más importante en el caso de los riegos ajustados en ambos años. Promediando para cada tipo de suelo las cantidades de nitrato residual de los 2 años, se observa que un suelo de tipo plataforma tiene una cantidad de nitrato residual muy baja de 2 kg N/ha con un riego real simulado mientras que con el riego ajustado tiene 35 kg N/ha. Esta diferencia es debida a que, con el riego ajustado, se producen menos pérdidas de N mineral por lavado, y ese nitrógeno que no ha utilizado el cultivo queda de forma residual en el suelo. Tal como se ha visto para el suelo tipo plataforma, se ▶▶▶

**PERFECTAMENTE EQUILIBRADO**  
 en la composición de nutrientes

**Patentkali®**

30% K<sub>2</sub>O · 10% MgO · 42,5% SO<sub>3</sub>

www.kali-gmbh.com · K+S KALI  
 K+S KALI GmbH · Una empresa del grupo K+S

observa también para los otros tipos de suelo. El nitrato residual es proporcional a la profundidad y a la cantidad inicial del nitrógeno mineral en el suelo.

### ■ Escenarios de manejo de la fertilización nitrogenada

El calendario de riego calculado para cada año depende principalmente de las precipitaciones, en tal sentido, en un año lluvioso como 2008 se aplicó menos riego que el año menos lluvioso (2011). El manejo de fertilización aplicado para cada año fue de 250 kg N/ha para la fertilización ajustada y 390 kg N/ha para la fertilización real. En ambos manejos de la fertilización, la cantidad aplicada del nitrógeno al maíz fue suficiente para cubrir sus necesidades durante todo el ciclo del cultivo, no apareciendo estrés por carencia de N de acuerdo al modelo, o en algún caso particular muy leve. El rendimiento simulado varió entre los distintos años, entre 11963 y 15871 kg/ha y esa variación del rendimiento entre distintos años (2004-2013) fue debida a diferencias en las condiciones meteorológicas. El rendimiento medio para cada escenario fue casi igual para ambos casos de manejo de la fertilización (real y ajustada) siendo de 14000 kg/ha.

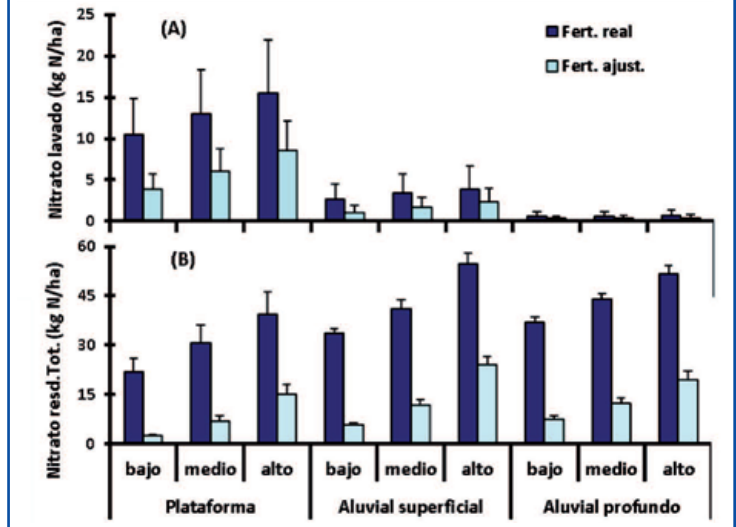
Con respecto al nitrógeno extraído por la planta, la extracción bajo la fertilización real fue únicamente 5 kg N/ha mayor que el extraído con un manejo ajustado de la fertilización. Además, se puede destacar una pequeña diferencia en cuanto el nitrógeno extraído entre los diferentes niveles inicial del nitrógeno en cada tipo de suelo. La tendencia de las extracciones del nitrógeno fue algo mayor en condiciones de nitrógeno inicial alto. Por otra parte, el nitrato lavado fue más elevado bajo la fertilización real que con un manejo ajustado de la fertilización para todos los tipos de suelo (Fig. 2A). Además, esta pérdida de nitrato fue más elevada en un suelo de plataforma (Fig. 2A). Esto es debido a las características especiales de estos tipos de suelo (baja profundidad y alto porcentaje de pedregosidad). De hecho, un suelo de plataforma provoca un lavado de nitrógeno de unos 13 kg N/ha mientras que en un suelo de tipo aluvial superficial y de tipo aluvial profundo, el lavado fue de 3,3 kg N/ha y 0,7 kg N/ha, respectivamente.

En cuanto a la cantidad de nitrato residual en el suelo después de la cosecha (Fig. 2B), los valores medios (para los 3 tipos de suelo) bajo la fertilización real de 390 kg N/ha fueron 71% mayores (39 kg N/ha frente a 12 kg N/ha) que los de la fertilización ajustada (dosis de 250 kg N/ha). Los dos tipos de suelos aluviales presentan valores parecidos en cada nivel de nitrógeno inicial del suelo, y son más altos a los del suelo de plataforma. Para ambos casos de pérdida de nitrógeno (lavado y residual), bajo unas prácticas de fertilización

**Tabla 2. Valores simulados de eficiencia de uso del agua de riego (kg de rendimiento de grano mm<sup>-1</sup> de agua de riego) y volumen de drenaje (mm) bajo riego real y ajustado para los diferentes tipos de suelo durante las temporadas de cultivo 2008 y 2009.**

	Plataforma		Aluvial superficial		Aluvial profundo	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
---- Eficiencia del uso del agua (kg mm <sup>-1</sup> ) ----						
<b>Riego real del agricultor</b>	19	14	19	14	19	14
<b>Riego ajustado de DSSAT</b>	29	19	31	19	31	20
----- Volumen de drenaje (mm) -----						
<b>Riego real del agricultor</b>	189	154	167	136	138	112
<b>Riego ajustado de DSSAT</b>	14	2	3	0	0	0

**Figura 2. Valores medios y desviación estándar de nitrato lavado (A) y de nitrato residual en el suelo (N. resd. Tot) (B) bajo la fertilización real (Fert. real) y ajustada (Fert. Ajust.) con diferentes niveles de nitrógeno inicial en el suelo (bajo, medio y alto) para un suelo de plataforma, aluvial superficial y aluvial profundo, considerando el periodo 2004-2013.**



ajustada se perdió menos nitrógeno comparado con el manejo real realizado por los agricultores. De hecho, la eficiencia en el uso de nitrógeno fue mayor en el caso de la fertilización ajustada (56 kg grano kg/N aplicado) que en la práctica usual de los agricultores (36 kg grano/kg N aplicado).

A la vista de los resultados presentados, ambos factores (dosis de agua de riego y de fertilizante nitrogenado) son factores clave para reducir las masas exportadas con el agua de drenaje en las zonas de riego, lo que coincide con los resultados de otros estudios previos (Cavero et al., 2003; Diez et al., 2000). Dependiendo de las propiedades del suelo y del manejo del riego, el lavado de N depende del volumen de agua de drenaje y de la concentración de N en el agua de drenaje.

### CONCLUSIONES

El uso de un modelo de cultivo bien calibrado para las condiciones particulares de maíz regado por aspersión en el Valle Medio del Ebro permitió una evaluación de las

prácticas reales de manejo del riego en una zona regable Sistema de Riegos del Alto Aragón (Huesca, Aragón) durante dos periodos del cultivo de maíz. La gran ventaja de los modelos es la posibilidad de simular los efectos utilizando series meteorológicas largas de datos, así como distintas características de los suelos. Los resultados indican que el manejo de riego del maíz puede optimizarse con un mejor ajuste de las necesidades hídricas, lo que permitiría una reducción en el consumo de agua del 31% y un menor lavado de nitrógeno (reducción del 97%). Todo ello sin una reducción significativa del rendimiento.

El uso del modelo para una serie de 10 años de datos meteorológicos en el mismo regadío mostró que es posible una reducción significativa de las dosis de fertilizante nitrogenada aplicada actualmente al maíz por los agricultores, sin una reducción del rendimiento de grano y con una reducción importante del nitrógeno perdido por lavado de entre el 33 y el 53% dependiendo del tipo de suelo. Estas pérdidas de nitrógeno van aumentando proporcionalmente con el tipo de suelo (aluvial profundo, aluvial superficial y plataforma) y las cantidades iniciales del nitrógeno en el suelo (bajo, medio y alto). Por ello, además de un buen cálculo de las necesidades brutas del riego, es fundamental que los agricultores tengan

en cuenta las características del suelo (especialmente profundidad, pedregosidad y textura; para conocer la capacidad de retención de agua) para realizar un ajuste de la frecuencia y dosis de riego. Con ello se evitarán los eventos de drenaje profundo, por debajo de la capa donde se encuentran las raíces de los cultivos, disminuyendo las pérdidas de nitratos, que tanto coste suponen para la producción de maíz.

### REFERENCIAS

Cavero J., Beltran A., Aragüés R., 2003. Nitrate exported in drainage waters of two sprinkler-irrigated watersheds. *Journal of Environmental Quality*. 32:916-926.

Diez, J.A., R. Caballero, R. Roman, A. Tarquis, M.C. Cartagena, Vallejo A., 2000. Integrated fertilizer and irrigation management to reduce nitrate leaching in Central Spain. *Journal of Environmental Quality*. 29:1539-1547.

IGEAR, 2019. Instituto Geográfico de Aragón. Gobierno de Aragón. Julio, 2019. <https://www.aragon.es/buscador/-/search/type/any/page/0/q/zonas%20vulnerable>

Isla R., Cavero J., Yagüe M.R., Quílez D., 2008. Balances de nitrógeno en cultivo de maíz en regadío en Aragón. *Tierras de Castilla y León* nº 145:84-96.

Lloveras J., Cela S., Berenguer P., Santiveri F., Quílez D., Yagüe M.R., Isla, R., 2010. Contaminación por nitratos asociada a la fertilización nitrogenada del maíz. *Vida Rural* nº 302: 40-45

Malik W., Isla R., Dechmi F., 2019. Performance of DSSAT-CERES-MAIZE under different nitrogen availability in intensive irrigated system. *Agricultural Water Management Journal*. 213:298-308.

Tedeschi, A., Beltran A., Aragüés R., 2001. Irrigation management and hydrosalinity balance in a semi-arid area of the middle Ebro river basin (Spain). *Agricultural Water Management*. 49:31-50.



**PETKUS**

## Tecnología e Innovación PETKUS

### Soluciones para el Procesamiento de Semillas y Granos

\*Nueva Planta de Selección de Semillas y Clasificación de Legumbre. Cooperativa AN, Villamartin de Campos (Palencia).

GRANOS

01 Recepción

02 Prelimpieza

03 Secado

04 Almacenamiento

GRANOS



SEMILLAS



SEMILLAS

GRANOS

01 Recepción

02 Prelimpieza

03 Limpieza

04 Clasificación

05 Tratamiento

SEMILLAS

Transporte

Strong Seed. Healthy Grain.

Brand members of the PETKUS Group







**PETKUS España**  
 Avda. Comunidad Europea, 33 - P13  
 Polígono Industrial San Antolín  
 34004 Palencia (ESPAÑA)  
 Tel.: +34 979 728 440  
 Fax: +34 979 728 439  
 E-mail: petkus@petkus.es

[www.petkus.com](http://www.petkus.com)




269A073