

Herramientas de decisión para optimizar el uso del nitrógeno en maíz en riego por aspersión

Optimizar el uso de N supone un ahorro para el agricultor y un beneficio para el medio ambiente

Este trabajo es una continuación del publicado en *Vida Rural* en 2012, ampliado con los resultados obtenidos a lo largo de todo el proyecto, después de tres años de experimentación y en cinco ensayos diferentes llevados a cabo en tres parcelas ubicadas en las provincias de Huesca, Zaragoza y Albacete. Se presenta una comparación de tres posibles formas de mejorar las prácticas de fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, especialmente pensadas para sistemas en riego por aspersión.

R. Isla¹ y F. Valentín-Madrona².

¹ Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente.

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Zaragoza.

² Fundación para el Desarrollo Sostenible de Castilla-La Mancha (Fundescam). Albacete.



Debido a la creciente presión de la sociedad y a las nuevas normativas, hoy día casi nadie pone en duda que es preciso obtener elevadas producciones agrarias, pero compaginándolo con el menor impacto posible sobre el medio ambiente. En

los próximos años, la nueva PAC que entrará en vigor en 2023, está claramente orientada a que la agricultura sea más respetuosa con el medio ambiente. Los objetivos son: aumentar la biodiversidad de los sistemas agrarios, disminuyendo la contaminación de las aguas por nitratos, las

emisiones de amoníaco (derivadas fundamentalmente de estiércoles y de algunos fertilizantes minerales) y las emisiones de gases de efecto invernadero (fundamentalmente el óxido nítrico que se emite desde los suelos agrarios). Para ello, se prevé la aparición de los eco-esquemas, a

los que los agricultores que deseen seguir percibiendo ayudas, deberán acogerse.

En el caso de la fertilización nitrogenada de los cultivos, se prevé que alguno de los eco-esquemas implique una mejora de la gestión de los nutrientes, por lo que resultará imprescindible que se mejoren las prácticas de fertilización nitrogenada en un cultivo con alta demanda como es el maíz.

Después de muchos años de experimentación se conocen perfectamente las necesidades (extracciones de N del maíz) y que la respuesta a la fertilización nitrogenada varía en las distintas parcelas y en los distintos años. Esto significa que la dosis óptima, definida como aquella "por encima de la cual no existe respuesta a la aplicación de nitrógeno", no es la misma entre parcelas y, frecuentemente, tampoco lo es en la misma parcela entre distintos años. Hasta hace poco, parecía sufi-

ciente con aplicar la dosis recomendada para cada cultivo desde los diversos organismos que llevan a cabo trabajos de experimentación en las distintas CC.AA. Sin embargo, es posible ir más allá y mejorar esa recomendación si somos capaces de conocer de antemano cuál será la respuesta de una parcela determinada y así ajustar a la dosis óptima. De esta forma se evitan dosis excesivas que se perderán por lavado fundamentalmente (perjuicio económico y ambiental), o dosis que se queden cortas (perjuicio económico por obtener menor producción).

En este trabajo se presenta una comparación de tres posibles formas de mejorar las prácticas de fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, especialmente pensadas para sistemas en riego por aspersión. Para ello se usarán dos métodos clásicos: (a) conocer el nitrógeno disponi-

ble en el suelo antes de la siembra y realizar a partir de dicho dato un sencillo balance de nitrógeno; y (b) evaluar el estado nutricional del maíz en un momento dado, y en función de ello modificar la dosis a aplicar. Cada uno de los dos métodos tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

Por una parte, para conocer el N disponible en una parcela de cultivo hay que coger una muestra de suelo (al menos hasta 30 cm de profundidad) representativa de la parcela, lo que en la mayor parte de los casos no es fácil pues supone coger distintas submuestras en distintas zonas para luego combinarlas en una única muestra. Esa muestra hay que llevarla a un laboratorio para que analice al menos la cantidad total de nitrógeno en forma nítrica. Si se desea afinar más, los nitratos y el amonio, aunque en la mayor parte de las situaciones el contenido de amonio es

Fertiberia CLASSIC

abonos complejos NPK (Ca-Mg-S)
6 nutrientes fundamentales totalmente solubles

www.classic.fertiberia.com



Abonos complejos Polysulphate NPK (Ca-Mg-S)
6 nutrientes fundamentales totalmente solubles



Nitrogenados SDCD
El nitrógeno más eficiente y completo para tus cultivos

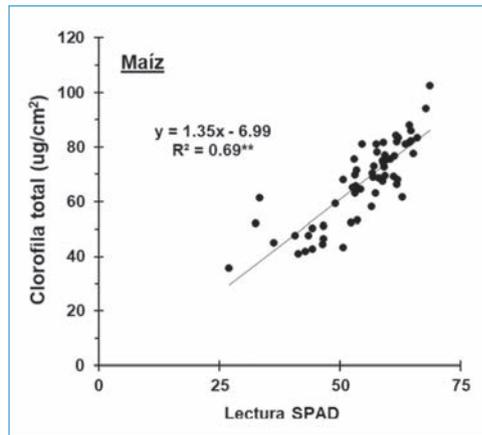


Imagen de un cultivo de maíz con deficiencia severa de nitrógeno (izda.) y con un nivel suficiente de fertilización nitrogenada (dcha.).

muy pequeño comparado con el de nitratos. El laboratorio nos proporcionará un valor de concentración (mg N/kg de suelo), que tenemos que convertir a masa o cantidad de nitrógeno (kg N/ha). Para realizar dicha conversión necesitamos conocer la profundidad hasta la que hemos muestreado y la densidad aparente del suelo (oscila entre 1,2 y 1,6 g/cm³; dependiendo de la textura y del grado de compactación del suelo). Con esa información ya se puede cuantificar cuánto nitrógeno mineral hay disponible en el suelo para el cultivo antes de la siembra.

Para conocer el estado nutricional del maíz (saber si está o no con carencia de N) puede analizarse la cantidad de N total en las hojas y compararlo con los valores de referencia de algunas tablas disponibles. Sin embargo, este método es poco práctico, pues no está completamente estandarizado y varía con la edad de las hojas. Por ello, una alternativa es utilizar un medidor portátil de clorofila (SPAD 502 o N-Tester; **figura 1**), ya que, si bien no miden directamente la cantidad de N de la hoja, sus lecturas sí que están muy relacionadas con la cantidad de clorofila de la hoja (**figura 1**), que a su vez está relacionada con la cantidad de N total de la misma. Por ello, estos equipos portátiles

FIG. 1 Relación entre las medidas que proporciona el equipo medidor de clorofila (SPAD) y la concentración de clorofilas totales en las hojas de maíz (Datos CITA).



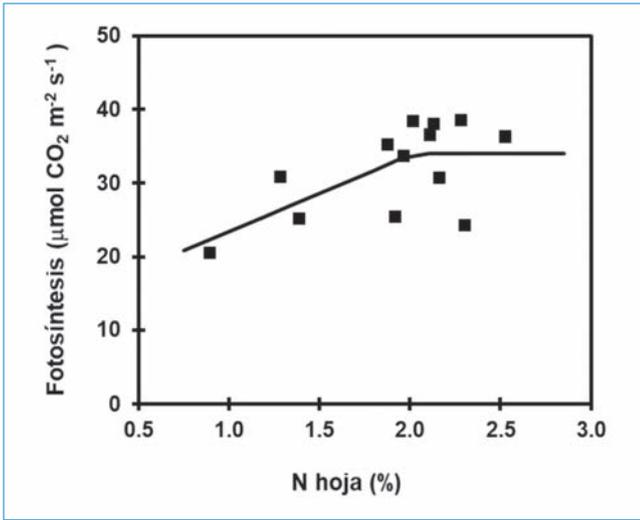
constituyen una herramienta rápida, fiable y no destructiva para determinar el estado nutricional de N del maíz.

Un problema de esta forma de evaluar las necesidades es que utilizar valores absolutos de SPAD no es recomendable y es preferible utilizar el valor relativo (en tanto por ciento) al obtenido en una zona de la parcela que sepamos con seguridad que está con suficiente nitrógeno disponible. Esto conlleva la necesidad de aplicar en una zona representativa de la parcela una banda sobrefertilizada (exceso de N). Se sabe que las hojas de maíz pueden

acumular nitrógeno con niveles por encima de lo “necesario” para alcanzar las máximas tasas de fotosíntesis, mediante lo que se denomina “consumo de lujo”. Así, los resultados de la **figura 2** indican que las hojas de maíz, a partir de un cierto nivel de N, no aumentan la tasa de fotosíntesis y, por lo tanto, tampoco la acumulación de materia seca.

Este artículo es una continuación de otro publicado en esta misma revista en 2012, ampliado con los resultados obtenidos a lo largo de todo el proyecto, después de tres años de experimentación y en cin-

FIG. 2 Relación entre la tasa de fotosíntesis y el contenido en N de la hoja del maíz, sin limitaciones de agua ni luz (extraído de Isla *et al.* 2016).



co ensayos diferentes llevados a cabo en tres parcelas ubicadas en las provincias de Huesca, Zaragoza y Albacete.

Descripción de los ensayos

Entre los años 2010 y 2012 se llevaron a cabo cinco ensayos en dos zonas típicas de cultivo de maíz, Aragón y Castilla-La Mancha. Los ensayos se llevaron a cabo en Montañana (finca del CITA, Zaragoza, ensayo 1), Almodévar (Huesca, ensayos 3 y 5) y en la finca experimental Las Tiesas (ensayos 2 y 4) perteneciente al Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP) de la Diputación de Albacete.

En todas las parcelas, el maíz se regó de forma adecuada por aspersión con un sistema de cobertura total siguiendo un calendario de riego ajustado a las necesidades. Los suelos de los ensayos llevados a cabo en Aragón eran profundos (>90 cm) y de texturas finas, mientras que los suelos de los ensayos en Castilla-La Mancha eran someros (<50 cm) y con elevada pedregosidad.

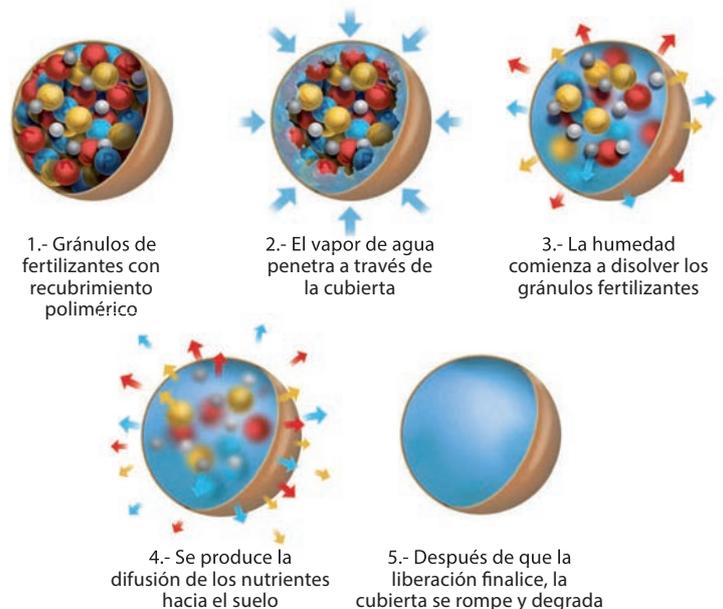
En cada localidad se dispuso de tres zonas, con diferentes niveles de N mineral inicial en el suelo que denominaremos: alta, media y baja. El objetivo de crear estos escenarios fue simular las posibles condiciones de disponibilidad de N en el suelo que pueden producirse en condiciones reales de cultivo dependiendo de los antecedentes de la parcela y del tipo de suelo. En cada una de estas tres zonas, se evaluaron tres metodologías diferentes para optimizar la dosis de N a aplicar:



CoteN™ Mix

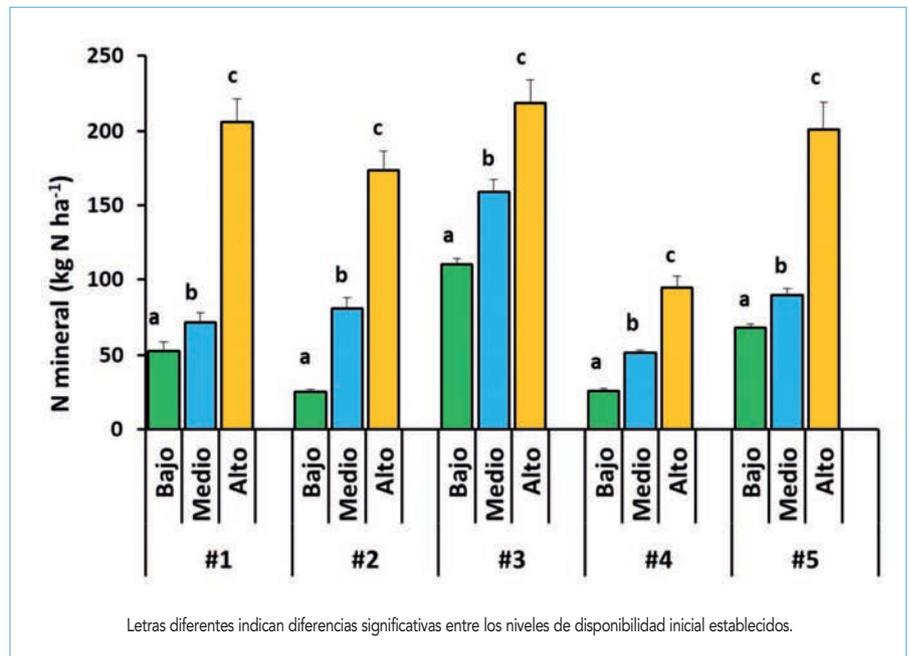
Fertilizante de liberación controlada

El secreto está en la cápsula



- **Dosis fija:** consistió en la aplicación de una dosis fija optimizada, repartida en una pequeña aplicación en pre-siembra y dos coberteras (V6 y V14); y recomendada como dosis razonable y obtenida en ensayos previos en cada ambiente. Así se consideró que para los ensayos en Albacete era de 200 kg N/ha (Maturano *et al.*, 2002) y en los ensayos en Aragón de 225 kg N/ha (Isla *et al.*, 2006).
- **Balance suelo:** consistió en realizar un balance de N considerando las posibles entradas y salidas de N de una forma simplificada. (1) Salidas: la estimación de las extracciones totales de N por parte del maíz (21 kg N por cada tonelada de grano esperada). (2) Entradas: la cantidad de N que podía contener el agua de riego conociendo la concentración media de nitratos y el volumen medio de riego utilizado, el N mineralizado en el suelo que se puede estimar dependiendo de la materia orgánica del suelo y su profundidad y el N disponible en el suelo antes de la siembra (0-30 cm de profundidad) mediante un análisis de suelo. Se consideró una eficiencia en el uso del fertilizante del 70%. Se aplicaron 50 kg N/ha en pre-siembra y la cantidad resultante del balance repartidas entre las dos coberteras (2/3 en V6 + 1/3 en V14).
- **SPAD:** consistió en la medición del estado nutricional del cultivo antes de floración masculina con un medidor de clorofila (SPAD), para decidir la cantidad de fertilizante a aplicar mediante fertirriego en una segunda cobertera. En este tratamiento, se aplicó un abonado de fondo de 50 kg N/ha, y una primera cobertera con el maíz en 6 hojas, de 100 UFN. Antes de la salida del penacho (V14) se realizó una medición con el sensor SPAD en la hoja de la mazorca, en las parcelas de este tratamiento y en las parcelas sobrefer-

FIG. 3 Valores medios (\pm error estándar) del N mineral disponible en el suelo (kg N/ha, 0-60 cm) en cada escenario de nivel inicial antes de la siembra de maíz en los distintos ensayos.



tilizadas sin deficiencia de N. Se calculó la lectura relativa del SPAD = (valor SPAD parcela/valor SPAD parcela sobrefertilizada)*100. El criterio seguido fue el siguiente:

- Si la lectura relativa del SPAD fue mayor al 95%, no se abonó la segunda cobertera.
- Si la lectura relativa SPAD oscilaba entre 90 y 95%, se abonó la parcela con 50 UFN.
- Si la lectura relativa SPAD fue menor al 90% se abonó la parcela con 100 UFN, para intentar corregir la deficiencia más severa.

En todos los ensayos se dispuso de un tratamiento control que no recibió nitrógeno (sin N) y una parcela sobrefertilizada con nitrógeno (exceso N, 300 kg N/ha excepto en el ensayo 1 que se aplicaron 400 kg N/ha por error) para obtener los rendimientos máximos potenciales y asegurar zonas sin deficiencia de N y poder calcular el valor de SPAD relativo de las distintas parcelas.

Resultados obtenidos

Nitrógeno disponible en el suelo

En la **figura 3** se observa que se consiguió crear de forma satisfactoria los tres escenarios con distintos niveles de nitrógeno mineral disponible. Así, en las parcelas de nivel bajo osciló entre 50 y 100 kg de N disponible, pero en las parcelas de nivel alto generalmente osciló entre 100 y 200 kg N/ha. Esa variabilidad en las parcelas se buscaba para poder evaluar frente a distintos niveles, diferentes estrategias de cálculo de la dosis de fertilizante nitrogenado.

Cantidades de N fertilizante aplicadas en cada estrategia

En la **figura 4** se presentan los valores de las dosis totales aplicadas, resultantes de utilizar cada una de las herramientas de decisión en cada uno de los cinco ensayos. Cualquiera de los tres métodos de ajuste permitió reducir la dosis de fertilizante N aplicado comparado con la zona

FIG. 4 Dosis de nitrógeno aplicadas con las distintas estrategias de manejo del fertilizante en cada escenario de nivel inicial de N y para cada ensayo.

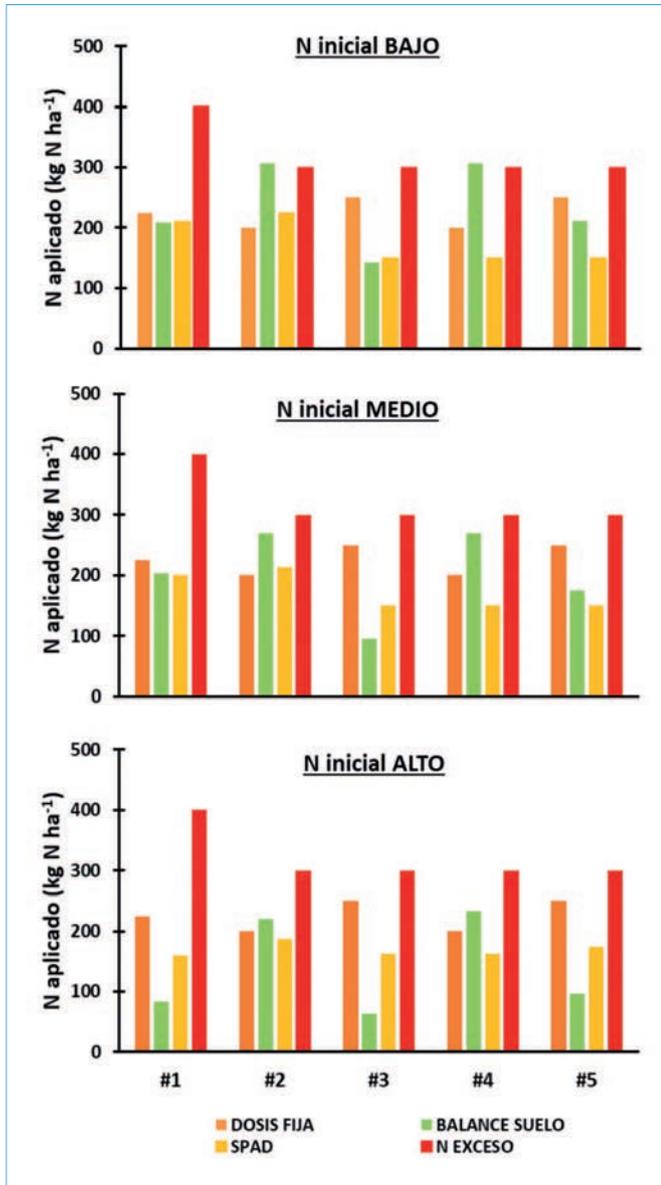
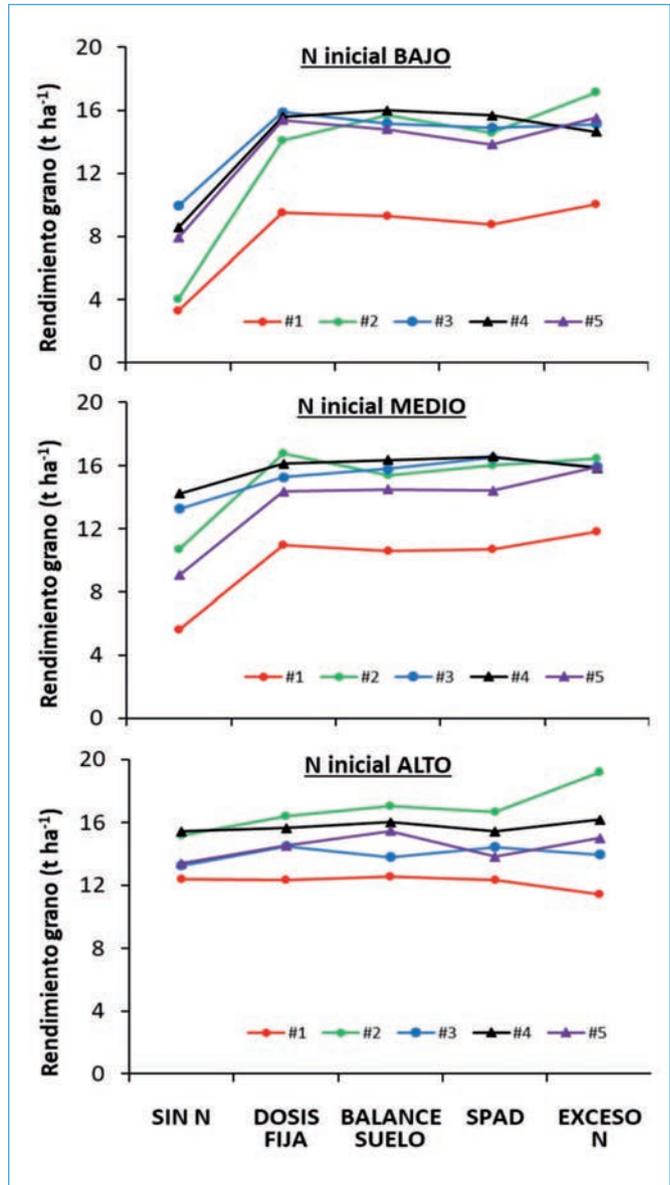


FIG. 5 Efecto de las distintas estrategias de manejo del fertilizante N en el rendimiento de grano del maíz en los distintos escenarios (bajo, medio y alto) y para cada uno de los cinco ensayos.



sobrefertilizada (N exceso), que supone el escenario más parecido a las dosis que normalmente aplican los agricultores. Esa reducción resultó en promedio del 37%, aunque osciló entre el 25 y el 55% en función del ensayo y de los niveles iniciales de N en el suelo. Comparando las distintas estrategias de forma individual, el método de balance de suelo permitió reducir las dosis aplicadas comparadas con el método

de la dosis fija en 9 de los 15 casos posibles, con un valor medio de reducción del 11%. De forma similar el método de SPAD, permitió reducir la cantidad de N aplicada comparada con la dosis fija en 13 de 15 casos posibles, con un valor medio del 22%. Solamente en dos situaciones (de las 15 evaluadas), la cantidad de fertilizante aplicada fue similar utilizando alguna de las tres estrategias propuestas a la

dosis usada en las parcelas sobrefertilizadas (N exceso). Se puede decir que la estrategia SPAD permitió reducir más las dosis cuando los niveles de N inicial fueron bajos o medios, mientras que en condiciones de N inicial elevado en el suelo el método de balance de suelo permitió reducir más la dosis que el método SPAD, debido a la temprana detección de dichos niveles elevados.

Efecto de las distintas estrategias en el rendimiento del maíz

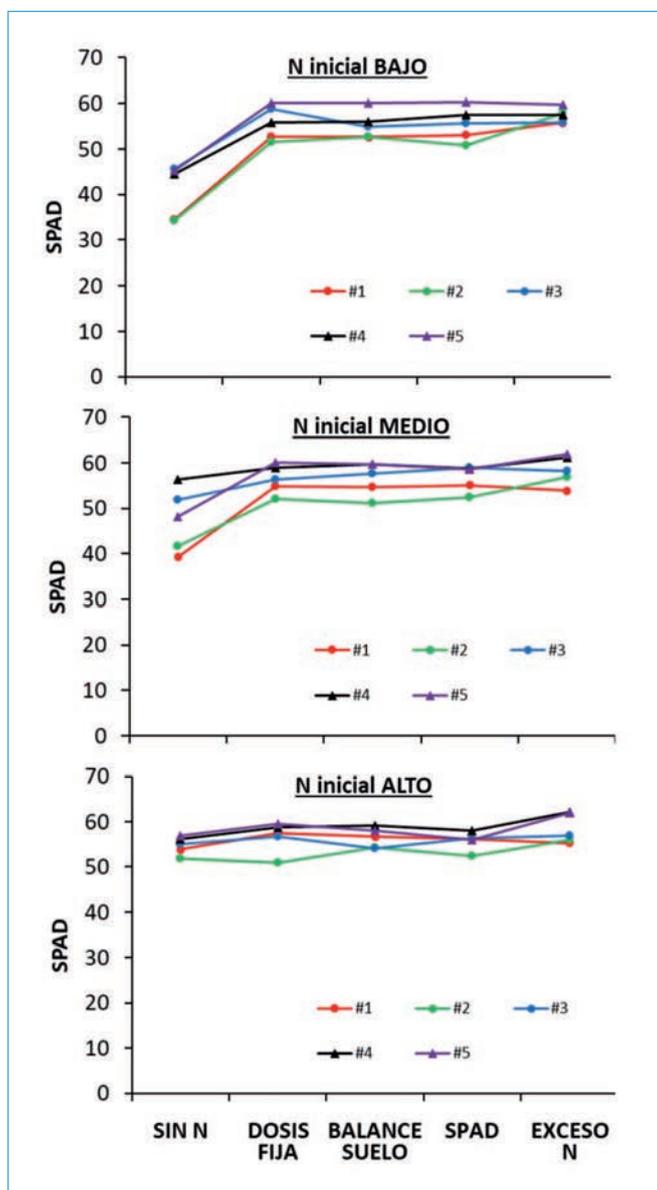
El rendimiento máximo del maíz en los distintos ensayos osciló entre 12,5 y 17,7 t/ha, con un valor medio de 15,4 t (figura 5), lo que indica que se trata de parcelas con buenos niveles productivos, representativos de los valores obtenidos en sistemas de riego por aspersión en dichas regiones. Se observaron diferencias importantes en rendimiento entre localidades y estrategias de manejo en las parcelas que no recibieron fertilizante (sin N). El rendimiento de maíz en las parcelas sin fertilización se redujo en promedio de los cinco ensayos un 53%, 31%, y 5% comparado con las parcelas sobrefertilizadas (exceso N), para los niveles bajo, medio y alto, respectivamente.

El resultado más destacado es que los rendimientos de maíz obtenidos al aplicar cualquiera de las tres estrategias no se redujo significativamente frente al rendimiento obtenido en las parcelas sobrefertilizadas (exceso N) en ninguno de los 15 casos posibles (5 ensayos x 3 niveles de N inicial en el suelo antes de la siembra). Únicamente en uno de los ensayos (el número 2)

parece observarse en la figura 5 (en los niveles alto y bajo de N inicial en el suelo) un mayor rendimiento (aunque no fue significativo) en el tratamiento exceso N que en los tratamientos con un control de la dosis de N aplicada mediante las distintas estrategias.

Este resultado se confirma por la ausencia de diferencias en cuanto al esta-

FIG. 6 Efecto de las distintas estrategias de manejo del fertilizante N sobre el estado nutricional del maíz en los distintos escenarios (bajo, medio y alto) y para cada uno de los cinco ensayos.



do nutricional del cultivo evaluado con un medidor de clorofila (SPAD, figura 6) entre las tres estrategias de manejo del N y el nivel no limitante (N exceso).

Ahorro económico con herramientas de ajuste de la fertilización

La figura 7 presenta el ahorro medio obtenido en los cinco ensayos para las

distintas estrategias de manejo del fertilizante nitrogenado, considerando un precio medio de 813 €/t N (base urea; últimos cinco años), y con respecto a la situación de manejo con sobrefertilización (300 kg N/ha).

Hay que tener en cuenta que muchas zonas productoras de maíz en España se suele superar esa dosis de fertilizante de 300 kg N/ha. Por ello, los métodos de ajuste, ya sea mediante analítica del suelo (Balance N) o medida del nivel de clorofila en V14, se consigue ahorrar más gasto de fertilizante comparado con la opción de dosis fija reducida. Así, en promedio, la utilización del método del balance puede ahorrar 88 €/ha y el del medidor de clorofila hasta 103 €/ha en lo que se refiere al gasto de fertilizante. Es cierto que no se han incluido los costes asociados al muestreo del suelo, gastos de laboratorio o de amortización del equipo medidor de clorofila, ya que pueden ser muy variables dependiendo de las condiciones específicas de cada explotación.

En condiciones de niveles bajos o medios de N en el suelo al inicio parece que la estrategia de SPAD funciona

mejor que la determinación a través de Balance suelo, pero cuando se prevea un nivel alto de N inicial, el método de Balance suelo se comporta mejor y permitiría un mayor ahorro. Los resultados son la media de los cinco ensayos, habiéndose observado diferencias entre los mismos, y la elección de un método de ajuste u otro puede depender más de la prefe-

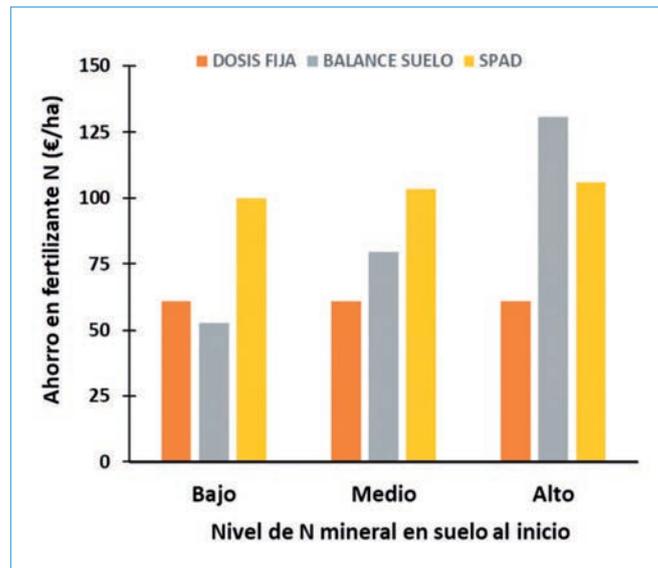
rencia de cada agricultor, la disponibilidad de un laboratorio próximo y de respuesta rápida al que enviar las muestras de suelo, o la dimensión de la explotación para afrontar la adquisición de un equipo portátil para medir el verdor de las hojas y poder establecer el nivel nutricional del cultivo.

Conclusiones y herramientas disponibles

Los resultados presentados demuestran claramente la posibilidad de ajustar las cantidades de fertilizante N en el cultivo de maíz en condiciones de regadío en sistemas de riego por aspersión, donde es posible realizar aplicaciones tardías mediante la inyección del fertilizante con el agua de riego. La comparación de las distintas herramientas se ha realizado con un tratamiento sin limitación de N (N exceso), que es similar o en muchos casos inferior a las dosis que se están usando todavía en el cultivo de maíz en muchas parcelas, por lo que cualquier herramienta o método que se use para cuantificar el estado nutricional del cultivo y optimizar el uso de nitrógeno, supondrá un ahorro importante para el agricultor y un beneficio para el medio ambiente.

El conocimiento del nivel de nitrógeno disponible en el suelo antes del cultivo en las primeras fases (antes de que el maíz tenga 4-5 hojas) es fundamental para ajustar el N a aplicar. Por ello, realizar el análisis de los suelos (nitrógeno mineral) en las distintas parcelas es fundamental. En ausencia de dicha información, los agricultores tienden a aumentar las dosis como un seguro y para disminuir el riesgo de una limitación de nitrógeno para el cultivo. Se recomienda disponer de información

FIG. 7 Ahorro medio estimado (en los cinco ensayos) con la reducción del fertilizante aplicado (€/ha) para cada una de las estrategias mejoradas de manejo del fertilizante y para los tres niveles de N inicial en el suelo.



“local” acerca de la capacidad de mineralización media de nitrógeno en las distintas parcelas de cultivo que disponga un agricultor. Variables tales como el nivel de materia orgánica, la profundidad del suelo y el nivel de pedregosidad pueden dar una buena información de partida para dicha estimación.

El método de ajuste más sencillo, como es la utilización de una dosis fija, siguiendo las recomendaciones de los sistemas de extensión de las distintas regiones puede ser un primer paso para reducir las dosis utilizadas actualmente, sin reducir los rendimientos. Siempre que el manejo del riego sea el adecuado.

Desde que se inició el proyecto que generó la información que se ha presentado en este artículo, la tecnología y el conocimiento ha avanzado y existen sistemas más avanzados a los presentados en este trabajo, tales como abonadoras que permiten la aplicación de dosis variables de fertilizante en una parcela siempre que se disponga de un mapa que permita dicha

zonificación en función de diversos criterios (producción potencial y tipo de suelo). Es lo que se denomina agricultura 4.0, que si bien todavía tiene una muy baja implantación en España, pueden encontrarse empresas (por ejemplo en Aragón, la empresa Agrarium o en Castilla-La Mancha aunque de ámbito nacional la empresa Agrisat Iberia), que pueden asesorar para avanzar en la utilización de dichas tecnologías, especialmente para explotaciones de cierta dimensión y con agricultores más profesionales. La utilización de plataformas de ayuda a la decisión, tales como Agroasesor, desarrollada por distintos centros de investigación espa-

ñoles pertenecientes a varias comunidades autónomas son una herramienta que proporciona al agricultor un gran apoyo en la tareas de optimizar la fertilización de los cultivos y del agua de riego, ya que ambos factores deben manejarse adecuadamente y de forma coordinada. ■

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se ha realizado gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyecto AGL2009-12897-C02-02), cofinanciado con fondos FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrarium: <https://agrarium.es>
- Agrisat iberia: <https://agrisat.es/>
- Agroasesor: <https://www.agrogestor.es/plataformas/plataforma-agroasesor/>
- Isla R., J. Caverro, R. Yague, D. Quilez. 2006. Balances de nitrógeno en un cultivo de maíz en regadío en Aragón. En: Balance de nitrógeno en sistemas de cultivo de cereal de invierno y de maíz en varias regiones españolas. M. Quemada (Ed.).
- Isla R., Guillén M., Salmerón M. 2016. Nitrogen availability effects on gas exchange measurements in field-grown maize (Zea mays L.) under irrigated Mediterranean conditions. Spanish J Agric. Res. 14(4).
- Maturano M., Silvestre Jiménez A., Cantos Soriano I., López Córcoles. 2007. Corn yield and nitrogen use efficiency in the first 3 years of a monoculture. En: Book of Proceedings. 15 N Workshop. Lérida (España).