



Fertilización nitrogenada del maíz en regadío

Determinación de las necesidades, recomendaciones generales y ejemplos prácticos

F. Domingo Olivé, A. Roselló Martínez, J. Serra Gironella.

El cultivo de maíz representa un peso importante en la producción española de cultivos extensivos y sus producciones de regadío oscilan entre las 10 y 14 t/ha. La mayor parte de la producción (79,9%) (MAPA, 2007) es de maíz para grano aunque, vinculada principalmente a explotaciones de vacuno de leche, existe también producción para forraje. Se trata de un cultivo exigente en radiación, agua y fertilización, hecho que implica unos costes de producción altos. En este artículo se sientan las bases para una correcta fertilización nitrogenada del cultivo, de forma que se maximice el beneficio de la explotación minimizando el impacto medioambiental.

En ocasiones y debido a la elevada respuesta del cultivo frente a fertilización se aportan cantidades superiores a las necesidades del cultivo. Esta sobrefertilización tiene consecuencias económicas importantes, ya que aumentan los costes sin incremento de producción, lo que puede comprometer la viabilidad económica de las explotaciones. Otro perjuicio grave de la sobrefertilización es el posible impacto ambiental asociado.

En los últimos años la legislación europea (Directiva 191/676/CE) ha comportado la designación, por parte de cada comunidad autónoma, de zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario (ZVN). En éstas se limitan los posibles aportes de N, orgánico y mineral, a los cultivos.

En definitiva, la fertilización nitrogenada debe ser gestionada a nivel de explotación, para maximizar el beneficio y para mi-

nimizar el impacto ambiental de las aplicaciones de nitrógeno.

Necesidades del cultivo y recomendaciones generales

Un aspecto clave de la fertilización nitrogenada es la determinación de la dosis a aportar al cultivo. Tradicionalmente se han aportado año tras año las mismas cantidades de abono sin atender a criterios técnicos que tuvieran en cuenta el manejo de la parcela y la gestión anterior de los abonos orgánicos. Como se ha comentado, actualmente existen limitaciones de aplicación de nitrógeno en las ZVN. Por tanto, se necesita de una gestión adecuada del nitrógeno a nivel de parcela y disponer de metodologías para determinar de forma racional las cantidades de nitrógeno a aportar en cada situación.

Existen diferentes herramientas que permiten racionalizar la

fertilización nitrogenada. En este documento se describe únicamente la metodología del balance de N, aunque a menudo se obtienen mejoras importantes en la recomendación utilizando además otras técnicas complementarias (por ejemplo, los sensores ópticos).

Balance de nitrógeno y sus componentes

Se trata de una metodología utilizada para determinar la fertilización nitrogenada a aportar en un cultivo. Considera de forma global todas las entradas y salidas importantes de nitrógeno de la parcela (**cuadro I**).

El balance se realiza en diferentes momentos de fertilización del cultivo, por ejemplo:

- Antes de la siembra: balance del cultivo anterior para determinar cuánto N mineral tendrá a disposición el cultivo. El resultado se compara con las necesidades de éste en los estadios iniciales.

- En cobertera: balance de nitrógeno estimado para el cultivo actual en comparación con las necesidades hasta el final del ciclo.

Los componentes del balance de nitrógeno se analizan a continuación.

Contenido de nitrógeno mineral en el suelo

El cultivo utiliza únicamente para su nutrición el nitrógeno que se encuentra en forma mineral (nitrata y amoniacal) en el suelo. Por eso es conveniente conocer cuál es el contenido (a distintas profundidades) en el momento de plantearse la recomendación.

En algunos casos y zonas se realizan recomendaciones a par-



Foto 1. Aplicación de purín antes de la siembra.

tir únicamente del análisis del nitrógeno mineral del suelo (N_{min}), sin considerar otros aportes de nitrógeno por parte de otras fuentes. Cuanto mayor sea el aporte de éstas (mineralización, agua de riego, etc.) más datos es necesario analizar para realizar la recomendación. El balance se realiza en diferentes momentos de fertilización del cultivo, tal y como hemos detallado anteriormente, por ejemplo antes de la siembra y en cobertera.

Mineralización de la materia orgánica del suelo

En el suelo, los microorganismos convierten el nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral, asimilable por la planta. Este proceso se denomina mineralización y puede ser de mayor o menor magnitud en función de las características de cada suelo. En el caso

del maíz las condiciones para la mineralización son óptimas, ya que combina temperaturas y humedad elevadas. En estas condiciones y con suelos con distribución de materia orgánica en profundidad, se pueden llegar a mineralizar del orden de 100 kg

N/ha anuales, aproximadamente un tercio de las extracciones totales de N del maíz.

Mineralización de nitrógeno procedente de los abonos orgánicos

Los diferentes abonos orgánicos (estiércol, purines, lodos, etc.) liberan su nitrógeno a lo largo de un período variable (de meses a años) en función de sus características. Así, un purín posee aproximadamente el 70% del total del nitrógeno en forma y éste está plenamente disponible para el cultivo a implantar (**foto 1**). En el caso de un estiércol sólo el 30% del nitrógeno está disponible durante el cultivo y el restante no se aprovecha en el mismo año, sino en los posteriores. La cantidad de N mineralizado puede ser muy variable y depende del tipo de abono orgánico, del manejo de las aplicaciones, de las condiciones y la microbiología del suelo.

Aportaciones de N por el agua de riego

Los nitratos que contiene el agua de riego pueden ser aprovechados directamente por el cultivo. En el **cuadro II** se muestran las distintas cantidades de nitrógeno aportadas al cultivo en función del contenido en el agua de riego y del volumen aplicado.

UN ASPECTO CLAVE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

es la determinación de la dosis a aportar al cultivo.

Tradicionalmente se han aportado año tras año las mismas cantidades de abono sin atender a criterios técnicos que tuvieran en cuenta el manejo de la parcela y la gestión anterior de los abonos orgánicos. Además, actualmente existen limitaciones de aplicación de nitrógeno en las zonas vulnerables a nitratos.

Cuadro I.

Componentes consideradas en el balance de nitrógeno de uso para las recomendaciones.

Entradas (+)	Salidas (-)
Nitrógeno mineral en el suelo	Extracciones del cultivo
Aporte de N mineral	Lavado de nitratos
Mineralización de la materia orgánica del suelo	
Mineralización de nitrógeno procedente de los abonos orgánicos aportados en éste y años anteriores	
Aportaciones de N por el agua de riego	
Nitrógeno aportado por cultivos anteriores	

Cuadro II.

Nitrógeno aportado (kg/ha) por el agua de riego en función del volumen de agua de riego aplicado durante el ciclo del maíz y su concentración en N nítrico.

Concentración de N nítrico del agua	Volumen de agua aportado m ³ /ha		
	3.000	4.000	5.000
25 mg/l (ppm)	17	23	28
70 mg/l (ppm)	47	63	79
125 mg/l (ppm)	85	113	141

Cuadro III.

Aporte de nitrógeno a un cultivo de maíz por parte de la alfalfa anterior. Estimación usada para las condiciones de cultivo de maíz en Cataluña.

Tiempo desde el final de la alfalfa	Aportaciones de la alfalfa	
	<3 años	>3 años
Menos de un año	80	100
1 año	100	120
2 años	80	80
3 a 4 años	20	40

Cuadro IV.

Extracciones de nutrientes de un cultivo de maíz por tonelada y para una producción de 13 t/ha, acumulación del nitrógeno en la planta (%), exportaciones y retorno de nitrógeno considerando que se incorporan los restos de cosecha.

	Extracciones totales por cada t de grano (14% humedad)	% grano	% restos	Para producciones de 13 t/ha		
				Extracciones	Exportaciones	Retorno
Nitrógeno	23	65	35	300	105	295
Fósforo	10	70	25	130	40	90
Potasio	22	40	60	280	110	170

Aporte de N por parte de cultivos precedentes

Las plantas de la familia de las leguminosas tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Al final del cultivo (plurianual –alfalfa– o anual –guisante, habines, etc.–), parte de este nitrógeno fijado se pondrá a disposición del cultivo siguiente y debe tenerse en cuenta en la recomendación de abonado. Esta cantidad puede ser importante tal como se muestra en el **cuadro III**.

Extracciones del cultivo

La cantidad de N que extrae un cultivo depende en gran medida de su producción. Cuanto mayor sea, mayores necesidades nutritivas tiene la planta. El método del balance de nitrógeno tiene en cuenta las extracciones del cultivo precedente (en base a la producción obtenida, ya conocida) y las del propio cultivo de

maíz. La estimación de ésta debe ser inferida con la mayor exactitud posible por el agricultor y/o técnico.

En el **cuadro IV** se detallan las extracciones por tonelada de grano de un cultivo de maíz. Hay que tener en cuenta que sólo parte de este nitrógeno extraído es realmente exportado. La mayor parte del nitrógeno extraído se acumula en el grano y éste se exporta, pero una parte importante del N y de otros nutrientes se reincorpora al suelo. Estos nutrientes incorporados de nuevo al sistema deben ser contabilizados cuando se realiza un plan de fertilización.

La absorción de nutrientes no es homogénea a lo largo del ciclo del cultivo. Estas cantidades totales se absorben por la planta de forma variable en función del estadio de desarrollo. Así, durante el primer desarrollo del maíz la plántula moviliza reservas de la

semilla para la emergencia y es a partir de los veinte o treinta primeros días después de emergencia cuando empieza una rápida absorción de N. A partir de este momento el cultivo debe disponer de nitrógeno para su absorción por la planta.

El fraccionamiento del aporte de N aumenta la eficiencia de su uso ya que evita la aplicación de cantidades elevadas de N, y su posible pérdida, en períodos sin necesidades importantes del cultivo. El aporte de N en momentos cercanos a las mayores necesidades (una o varias aplicaciones de cobertera) evita posibles pérdidas y mejora la eficiencia en el uso del N.

Lavado de nitratos

Se produce lavado cuando el N nítrico desciende hasta situarse fuera de la profundidad de suelo explorable por las raíces. Debido a la solubilidad en el agua de los nitratos y a que no son retenidos en el complejo arcillo-húmico del suelo, esta forma de N puede perderse asociada a lluvias o aportes de agua de riego excesivos. La magnitud de estas pérdi-

das depende además de las características del suelo (profundidad, textura, etc.) y se traducen en evidentes consecuencias económicas y ambientales.

En la elaboración de recomendaciones de fertilización a partir del método del balance de N, se estima y contabiliza el porcentaje de N lavado en diferentes períodos (antes de la siembra, primavera, etc.) considerando las características de la parcela.

Fenimar, un programa para la recomendación de fertilización nitrogenada en maíz

La metodología del balance de N para la recomendación de fertilización nitrogenada puede resultar, en un principio, dificultosa en su utilización si no se está familiarizado con la misma y con los datos a manejar. Con el objetivo de facilitar su utilización por parte de técnicos y agricultores se ha desarrollado un programa informático de uso fácil, Fenimar. Éste permite el cálculo de la dosis de fertilizante (orgánico o mineral) a aplicar en diferentes momentos (presiembra y coberturas) del ciclo del cultivo de maíz (**figura 1**).

Fenimar –Gestión de la Fertilización Nitrogenada en el Cultivo del Maíz de Regadío–, ha sido desarrollado conjuntamente por la Estación Experimental Agrícola Mas Badia del Instituto para la Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA-Mas Badia) en Girona, el Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP) de Albacete, el Instituto Técnico y de Gestión Agrícola (ITGA) de Navarra y el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IRNAS-CSIC) en el marco del proyecto RTA03-066-C4, financiado por INIA.

Este programa permite obtener recomendaciones precisas de fertilización del maíz a partir de la introducción de pocos datos, fáciles de obtener, de la parcela (manejo de cultivos precedentes; tipología de suelos simplificada; objetivo de producción, etc.). La **figura 2** muestra alguna de las pantallas de introducción de datos donde se puede apre-

EL FRACCIONAMIENTO DEL APORTE DE N AUMENTA LA EFICIENCIA DE SU USO ya que evita la aplicación de cantidades elevadas de N, y su posible pérdida, en períodos sin necesidades importantes del cultivo. El aporte de N en momentos cercanos a las mayores necesidades (una o varias aplicaciones de cobertera) evita posibles pérdidas y mejora la eficiencia en el uso del N.

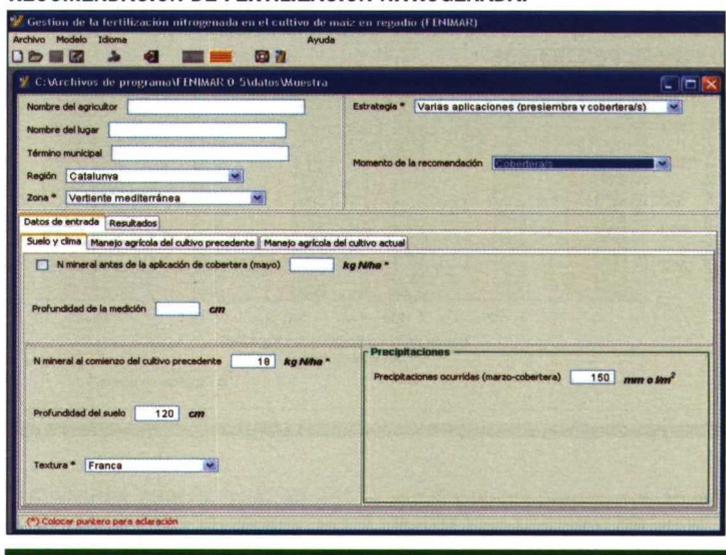
Figura 1.

PANTALLA INICIAL DEL PROGRAMA FENIMAR.



Figura 2.

PANTALLAS DE ENTRADA DE DATOS PARA LA OBTENCIÓN DE UNA RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA.



ciar la sencillez de la información requerida. Los parámetros subyacentes en el programa que permiten esta recomendación son fruto de los múltiples años de investigación y experiencia a nivel local y práctico de los organismos mencionados.

El programa permite la modificación de algunos de los valores que por defecto se utilizan (por ejemplo, la riqueza en N de los materiales orgánicos que se aportan; eficiencia del sistema de riego, etc.) en el caso de disponer de datos propios de la explotación. Asimismo, es posible la introducción de valores de N mineral en el suelo (N_{min}), sustituyendo alguna de las estimaciones que realizaría el programa. Una descripción más detallada del funcionamiento de este pro-

grama se puede obtener en Domingo *et al.* (2006), contactando directamente con las instituciones antes citadas o a través de los autores de este texto.

Recomendaciones generales

La gestión de la fertilización nitrogenada puede incrementar su eficiencia siguiendo las siguientes pautas:

- Aplicación de nitrógeno (orgánico y/o mineral) sólo si el cultivo lo precisa. Hace falta pues determinar las necesidades.
- Fraccionamiento de las aplicaciones para adaptarse a la dinámica de extracción del cultivo.
- Ajuste de las necesidades hídricas del cultivo. Con una gestión adecuada del riego se evita que el agua atraviese el perfil del suelo y produzca lavado de nitratos.

La experiencia adquirida en la aplicación real del método del balance de N en el cultivo de maíz en la zona de Girona conduce, además, a poder realizar las siguientes recomendaciones prácticas:

- No aplicar nitrógeno antes de la siembra cuando en los años precedentes se hayan aportado abonos orgánicos (estiércol, purines, etc.) o el cultivo anterior haya sido una leguminosa.
- En otros casos aportar cómo máximo 50 kg N/ha en fondo.
- En el estadio de seis u ocho hojas, utilizar el método del balance de N para evaluar la necesidad de nuevos aportes de nitrógeno. Si así fuera, y el sistema de riego lo permite, se aconseja fraccionar el nitrógeno restante.

Experiencias prácticas en el uso del nitrógeno en el Empordà

En la comarca del Baix Empordà (noroeste de Catalunya) se inició en 2001 un plan para asesorar sobre la gestión de la fertilización nitrogenada a los agricultores. Ha contado con el soporte del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya, la Diputació de Girona, el Consell Comarcal del Baix Empordà y la Associació de Productors de Conreus Extensius del Baix Empordà y se ha ejecutado por parte de IRTA-Mas Badià. El objetivo principal es optimizar el uso del nitrógeno en los cultivos extensivos, sin

COSECHADORAS DE OCASIÓN



www.enriquesegura.com

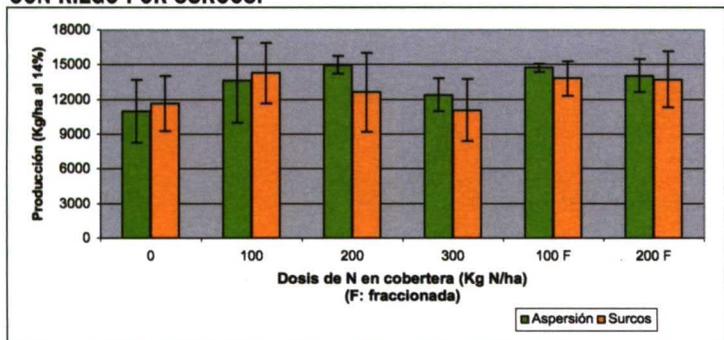
Polígono industrial Sector 4, nº 9
50830 Villanueva de Gállego (Zaragoza). España
Tfno.: 976 18 50 20 • Fax: 976 18 53 74

Móvil: 609 300 299 E-mail: enrique@enriquesegura.com



Figura 3.

RENDIMIENTO AL 14% DE HUMEDAD (KG/HA) PARA LOS SEIS AÑOS DE ENSAYO DE APLICACIÓN REITERADA DE ESTIÉRCOL DE BOVINO EN COMBINACIÓN CON ABONADO MINERAL (COBERTERA) EN MAÍZ CON RIEGO POR SURCOS.



perjudicar a la producción y la calidad de los productos y a su vez minimizando los efectos negativos para el medio ambiente. La actividad central de la iniciativa ha sido la creación de servicios para el asesoramiento personalizado a los agricultores. El asesoramiento se realiza a nivel de parcela evaluando en cada caso la cantidad de nitrógeno a aportar en base a un balance de nitrógeno.

Los componentes del balance de nitrógeno se adaptaron para esta zona basándose en actividades de investigación aplicada a las características del sistema agrario. El maíz es el principal cultivo extensivo de regadío de la zona del Empordà. Su manejo principal es como monocultivo y recibe habitualmente apor-

tes de deyecciones ganaderas. Los suelos de esta zona aluvial son profundos y de textura franca y franco-arenosa. El sistema de riego habitual es por surcos.

A continuación se muestran resultados de algunos de los ensayos realizados. Corresponden a ensayos con aplicación de materiales orgánicos que pueden ir acompañados con abonos químicos, con distintas fuentes de nitrógeno (tipos de abono) y sistemas de riego.



Foto 2 (izda.). Desarrollo del cultivo de la colza como cultivo captura sembrado sin laboreo previo del suelo sobre el rastrojo del maíz

Foto 3 (dcha.). Cultivo de avena utilizado como cultivo cubierta después de la cosecha del maíz.

Aplicaciones de estiércol antes de la siembra en combinación con abonado de cobertera mineral

El ensayo se inició en el año 2002. Anualmente se aplica estiércol de bovino (0, 30 y 60 t/ha) sobre las mismas parcelas combinándolas con distintas dosis de abonado mineral en cobertera (0, 100, 200 y 300 kg N/ha). En la figura 3 se muestran las producciones obtenidas para cada uno de los tratamientos en los seis años de ensayo. La dosis agronómica óptima resultante de este ensayo se sitúa en la aplicación anual de 30 t/ha de estiércol en fondo (aproximadamente 200 kg N/ha anuales) más una aplicación en cobertera entre 100 y 200 kg/ha de N mineral, en función de la meteorología anual. Aplicaciones superiores de estiércol no implican una mayor producción y además no están permitidas en ZVN. Dosis mayores de N en cobertera tienen influencia negativa en la producción.

Influencia del tipo de riego en la producción del maíz

El ensayo consistió en la aplicación de diferentes dosificaciones de abonado mineral y su fraccionamiento en maíz para distintos sistemas de riego (aspersión y por surcos). Las dosis de nitrógeno aplicadas fueron 0, 100, 200 y 300 kg/ha aportadas en el estadio V6-8 (6-8 hojas completamente desarrolladas) y dos tratamientos más dónde se fraccionó la aportación (50%) entre estadio V6-8 y floración.

El sistema de riego por aspersión genera un mayor rendimiento y homogeneidad del maíz que el riego por surcos. La dosis óptima, para los dos sistemas de riego, se sitúa entre los 100 y 200 kg N/ha (figura 4) cuando no se fracciona el aporte, observándose un perjuicio en la producción al aumentar la dosis de nitrógeno (300 kg N/ha). La dosis óptima se encuentra en 100 kg N/ha cuando se fracciona la aportación en riego por aspersión.

Cultivos cubierta para evitar pérdidas de nitrógeno por lavado

Después de la cosecha puede quedar nitrógeno mineral no aprovechado por el cultivo que con las lluvias de otoño puede ser lavado. Para evitar esta pérdida y mejorar la gestión ambiental del nitrógeno se pueden implantar cultivos cubierta durante el período invernal, que absorben el N nítrico del suelo. Posteriormente se entierran y, al descomponerse, el nitrógeno nítrico capturado volverá a estar disponible para el cultivo siguiente.

Se está estudiando qué especies tienen mejor aptitud y el método más eficaz para su implantación. Las especies utilizadas deben tener un rápido crecimiento y extracción de nitrógeno con un desarrollo radicular profundo para explorar el mayor volumen de suelo posible. En variedades alternativas de colza (foto 2) y cereales de invierno (foto 3) se han medido extracciones durante el ciclo del cultivo de 125 y 101 kg N/ha respectivamente (Roselló, 2006). La viabilidad de implantación de estos cultivos cubierta se debe estudiar en cada zona agroclimática.

Figura 4.

RENDIMIENTO AL 14% DE HUMEDAD (KG/HA) PARA UN ENSAYO DE DOSIS DE APORTE DE NITRÓGENO MINERAL Y SU FRACCIONAMIENTO PARA RIEGO POR ASPERSIÓN Y POR SURCOS.

