

CANTIDAD DE NITRÓGENO FERTILIZANTE QUE PUEDE AHORRAR EL AGRICULTOR SI APLICA EL BALANCE DE N SIMPLIFICADO

Fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, en la Mancha Oriental

Se ha producido un cambio de escenario con el ingreso de nuevos países en la Unión Europea que plantea un desafío a los agricultores españoles, que deberán aumentar la competitividad de sus explotaciones, entendida no solo por el incremento en los rendimientos sino en la capacidad de aprovechar al máximo la oferta ambiental. Dentro de este marco se desarrollan ensayos en diferentes cultivos para abordar los objetivos propuestos. En el presente trabajo se presentan resultados de ensayos llevados a cabo con distintos manejos en el cultivo de maíz.

Marisa Maturano, Francisco Valentín y Prudencio López.

Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete. ITAP.

Durante la segunda mitad del siglo pasado, la agricultura europea, como el resto de la agricultura mundial, sufrió un proceso de intensificación. En el período 1960-1980 el uso de fertilizantes fosfatados casi se duplicó pasando de 3,9 a 6,4 millones de toneladas (P_2O_5), y el uso de fertilizantes nitrogenados se incrementó de 3,3 a 10,4 millones de toneladas. Tanto el N como el P son los responsables de la eutrofización de numerosos lagos, humedales, etc. Además, el incremento en la utilización de fertilizantes nitrogenados trae como consecuencia la disminución en la eficiencia en el uso del mismo, lo que implica un aumento de las pérdidas. Por ejemplo, la volatilización del amonio conduce a la llu-

via ácida, los productos de la desnitrificación (N_2O) contribuyen al efecto invernadero, y la lixiviación de nitratos al deterioro de la calidad de las aguas subterráneas. La disminución de la contaminación ambiental por nitratos de origen agrícola debe ser uno de los principales objetivos de la producción.

Existe una creciente preocupación con respecto a este tema por parte de la CE que queda reflejada en varias directivas europeas como la de Nitratos (91/676/CEE), la de Control y Prevención Integrado de la Contaminación (96/61/EC) o la Directiva Marco del Agua (2000/60/EC).

En España el Real Decreto 261/1996, BOE n°61 de 11 de marzo de 1996, exige declarar como zona vulnerable a la contaminación por nitratos de origen agrario todas las superficies conocidas del territorio cuya escorrentía fluya hacia aguas con concentración de nitratos mayores a 50 mg/l y que contribuyan a la contaminación, y en plazo de dos años establecer progra-

mas de acción y la elaboración de un código de buenas prácticas agrarias.

Por otra parte, se ha producido un cambio de escenario con el ingreso de nuevos países en la Unión Europea, que plantea un desafío a los agricultores españoles que deberán aumentar la competitividad de sus explotaciones, entendida no solo por el incremento en los rendimientos sino en la capacidad de aprovechar al máximo



la oferta ambiental, y, consecuentemente, la reducción del uso de los subsidios energéticos representados fundamentalmente por el aporte de agua y nitrógeno al sistema productivo.

El ITAP, dentro del marco de esta problemática, ha llevado a cabo estudios desde hace más de diez años, cuyos objetivos son:

- Identificar problemas de suelos y aguas, surgidos al intensificar los sistemas de producción, para mejorar la comprensión de su funcionamiento.
 - Identificar los factores más limitantes que intervienen en la definición de la fertilización nitrogenada.
 - Definir las medidas necesarias a tomar para mitigar la contaminación, y en este sentido, calcular los costes y efectividad de las diferentes posibilidades en la definición de una política ambiental.
 - Definir un programa de actuación de la fertilización nitrogenada, teniendo en cuenta una rotación de cultivo y no un monocultivo.
- Dentro de este marco se desarrollan ensayos en diferentes cultivos para abordar los obje-

tivos propuestos. En el presente trabajo se presentan los resultados de los ensayos llevados a cabo con distintos manejos en el cultivo del maíz, cuyo objetivo ha sido cuantificar las curvas de respuesta del rendimiento al N disponible y, dentro de éste, el porcentaje aportado por el suelo y el agua de riego.

Metodología

Con el objetivo de cuantificar la curva de respuesta del rendimiento en el cultivo de maíz en función del N aportado con el fertilizante (N_f) y el N presente en el sistema (N_p), se llevó a cabo un ensayo en el que se evaluaron diferentes dosis de N, durante los años 2003, 2004 y 2005 en la finca experimental Las Tiesas, perteneciente al ITAP, sobre un suelo calcixerollic-petrocalcic xerochrepts. Las dosis evaluadas fueron 0, 40, 120, 200, 280 y 360 kg N ha⁻¹ (UFN). El momento de aplicación fue V6, que corresponde con seis hojas desplegadas (Ritchie and Hanway, 1982).

Se midió el contenido de N mineral antes

de la siembra. En el año 2003 se consideró un único valor inicial de N mineral para todos los tratamientos, ya que en este momento no había distintos niveles de N. La mineralización del suelo fue estimada en el tratamiento testigo. También se midió el aporte de N por el agua de riego. El N presente en el sistema se calculó según la **ecuación 1**.

Ecuación 1.

$$N_p = N_f + (N_{ini} + N_{min}) + N_{irri}$$

donde: N_p = N presente (kg/ha); N_f = N aportado como fertilizante (kg/ha); N_{ini} : contenido de N mineral a la siembra (kg/ha); N_{min} = nitrógeno mineralizado a partir de la material orgánica (kg/ha); N_{irri} = aporte de N con el agua de riego (kg/ha).

Se determinó la absorción de N en la parte aérea y el contenido de N mineral en la recolección para el cálculo de la eficiencia global en el uso del N.



Escucha tu lado más ecológico

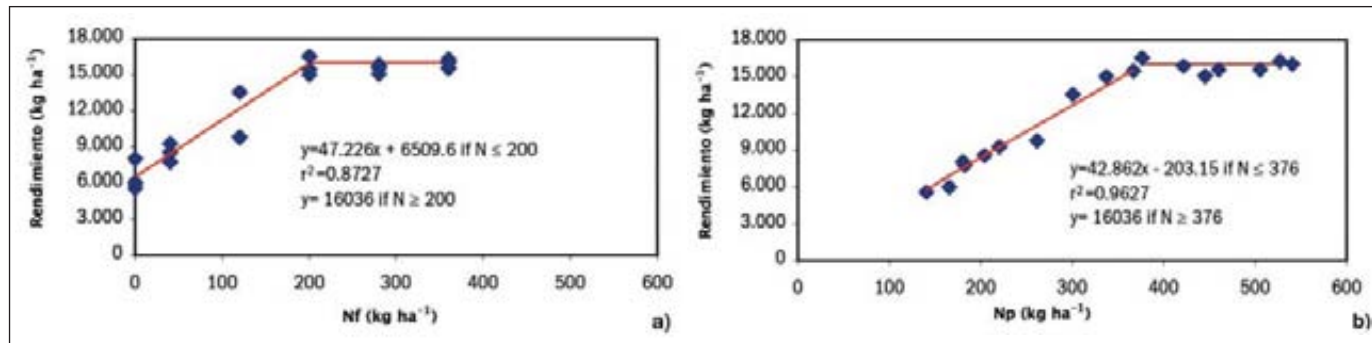
Agromed

F. San José • Ctra. Dílar, Km. 2
18150 Gójar (Granada) ESPAÑA-UE
Tlfs: +34 958597611 • +34 958597117
Fax: +34 958597117
E-mail: agromed@agromed.net
www.agromed.net

Formulaciones
Exclusivas
para Nutrición
y Protección
Vegetal Ecológica

FIGURA 1.

Rendimiento en grano de maíz en función del: a) N aplicado como fertilizante (N_f) y b) N disponible para el cultivo para todos los tratamientos y años de ensayo (N_p).



Resultados

Curva de respuesta del rendimiento al N

En la **figura 1** se presenta el rendimiento del cultivo en función del N aplicado como fertilizante y del N presente en el sistema. El umbral encontrado para la dosis de fertilizante aplicada para los tres años de ensayo es de 200 UFN, dosis mayores conducirán a aumentar el riesgo de contaminación del ambiente sin incrementar los rendimientos. Como este valor puede presentar una alta variabilidad entre años en función del cultivo precedente, de la pluviometría del año, del manejo que se realizó en el cultivo antecesor, etc., se presenta la **figura 1b** el rendimiento del cultivo en función del N presente que se aportó al mismo desde distintas fuentes. El umbral encontrado para la relación rendimiento en grano/ N_p fue de 376 kg N ha^{-1} .

N aportado por el suelo y el agua de riego

En el **cuadro I** se presentan los valores de N aportado por el suelo y el agua de riego en los distintos tratamientos y años de ensayo. El N aportado por el suelo + agua de riego representa entre el 28 y el 48 % del N_p necesario para alcanzar el rendimiento objetivo, en este caso fijado en 15.000 kg ha^{-1} .

No se puede hablar de una cantidad fija de nitrógeno a aplicar, ya que como se desprende de el **cuadro I** las cantidades de N aportadas por el suelo son variables en función del manejo del cultivo antecesor.

Eficiencia en el uso del nitrógeno

Para conocer la eficiencia global en el uso

del N del sistema productivo se realizó la relación entre el N disponible (N_{disp}), representado por el N absorbido en la materia seca aérea más el contenido de N mineral en la recolección, y el N_p . A la relación N_{disp}/N_p lo llamaremos c.

Para el ensayo presentado este valor osciló según el año entre 0,72 y 0,84 para la dosis de 200 UFN, que es la dosis a partir de la cual comienzan incrementos decrecientes de rendimiento para cada unidad extra de N que se aplique.

La aplicación del método de balance de nitrógeno simplificado, consiste en equilibrar las necesidades de N por parte del cultivo con la oferta del N del suelo más el del agua de riego

+ la dosis de fertilizante nitrogenado aplicado.

Para aplicar este método disponemos de información de los diferentes términos involucrados, generada a partir de ensayos de campo, aunque con distinto grado de precisión, por lo cual continuaremos los trabajos enfocados a profundizar en el conocimiento de, por ejemplo, la mineralización de N a partir de la materia orgánica del suelo en función del cultivo precedente. La demanda y la oferta de N la obtendremos de la siguiente manera:

- Demanda de nitrógeno por parte del cultivo.

El rendimiento objetivo para definir las necesidades de N por parte del cultivo presenta ba

CUADRO I.

Aporte de N por el fertilizante, el suelo ($N_{ini} + N_{min}$), y N aportado por el agua de riego en cada año de ensayo, en cada tratamiento.

Año	Tratamiento (UFN)	N agua de riego (kg ha^{-1})	N inicial a la siembra (kg ha^{-1})	N mineralizado (kg ha^{-1})	Total aportado (N_p) (kg ha^{-1})
2003	0	45	35,97	103,5	184
	40				224
	120				304
	200				384
	280				464
	360				544
2004	0	40	11,33	88	139
	40		13,53		182
	120		12,75		261
	200		17,35		345
	280		12,81		421
	360		14,74		503
2005	0	49	21,73	103	174
	40		20,62		213
	120		22,35		294
	200		22,38		374
	280		21,64		454
	360		24,14		536



las 1999 y 2000 para tres niveles de N analizados: nitrógeno optimizado (N_{op}) = 175 y 150 UFN para los ciclos 1999 y 2000, respectivamente; nitrógeno convencional (NC) = 300 UFN; testigo = 0 UFN.

La predicción de los valores de mineralización es prioritaria para predecir correctamente la fertilización nitrogenada. Se considera que el maíz, como todos los cultivos de verano, aprovecha el 100% de esa mineralización.

El N absorbido por el testigo no fertilizado refleja la cantidad de N que estuvo disponible para el cultivo desde el suelo: N inicial a la siembra + mineralización del humus + efecto del cultivo precedente. Asumimos que el testigo exporta la totalidad de la oferta del suelo.

La mineralización de N desde el suelo, independientemente de su origen, ha sido cuantificada en los tratamientos que no recibieron aporte de N en forma de fertilizante, en todos los ensayos de maíz, utilizando la **ecuación 2**.

Ecuación 2.

$$N_m = \Delta N + N_{abs} - N_{irri}$$

donde, N_m = N mineralizado $kg\ ha^{-1}$; ΔN = N residual - $N_{inicial}$; N_{abs} = N absorbido ($kg\ ha^{-1}$) en el tratamiento testigo; y N_{irri} = N aportado con el agua de riego ($kg\ ha^{-1}$).

En el **cuadro III** se presentan valores de N mineralizado durante el ciclo de maíz, en los tratamientos testigo, en diferentes años y ensayos. En todos los casos el cultivo precedente fue maíz.

Según el nivel de riesgo que quiera asumir el agricultor, el valor estadístico de la mineraliza-

ja variabilidad entre años, por lo que se puede tomar como objetivo el rendimiento promedio de los últimos cinco años. Las necesidades de N del cultivo para producir una tonelada de grano, calculadas a partir de ensayos propios, oscilaron entre 13 y 26 kg/t de grano (**cuadro II**).

- Oferta de nitrógeno:

- Aporte de N por el agua de riego. Este término del balance se cuantifica mediante una analítica del agua de riego que indique el contenido en NO_3^- de la misma y el conocimiento del volumen de agua aplicada.
- Aporte de N por el suelo. El aporte del suelo en nuestro caso donde no se aplica estiércol ni purines, está representado por: contenido

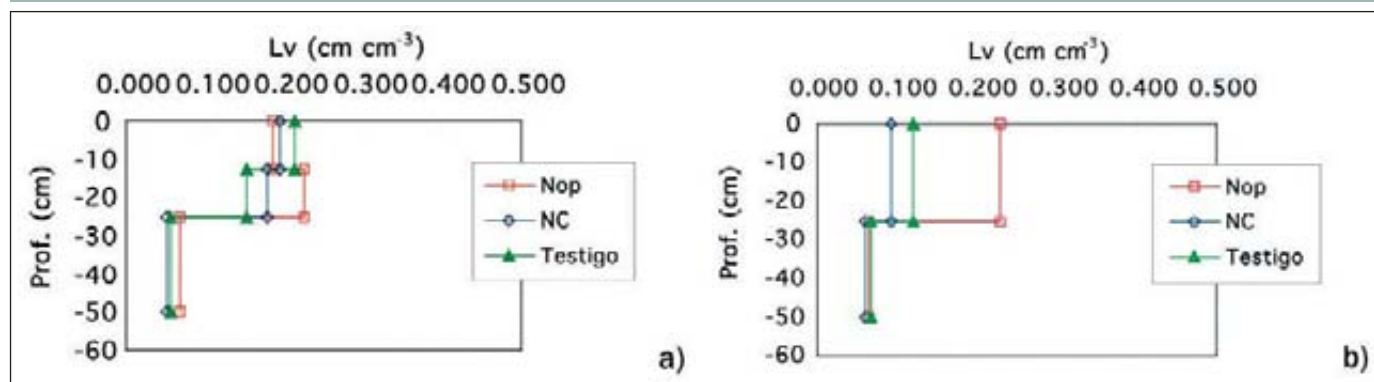
de N mineral a la siembra + N mineralizado a partir del humus + N que libera la descomposición de residuos de cosecha del cultivo precedente.

Para nuestro ambiente, se recomienda cuantificar el N mineral a la siembra en los primeros 0,30 m de suelo, debido a las características edáficas, ya que a 0,40 m existe un horizonte petrocálcico que impide el desarrollo radicular, y la profundidad medida a partir de la cual existe una reducción mayor al 50% en la longitud de raíces en la floración es de 0,25 m (Maturano, 2002).

En la **figura 2** se presentan los valores de longitud de raíces medidos en los ciclos agríco-

FIGURA 2.

Longitud volumétrica radicular ($L_v, cm^3\ cm^{-3}$) para los tratamientos Nop, NC, y T y los ciclos: (a) 1999 y (b) 2000.



CUADRO II.

Necesidades de N para producir una tonelada de grano de maíz para las distintas dosis ensayadas y años de experimentación.

Tratamiento	kg de N/t de grano		
	2003	2004	2005
0	15,1	21,6	24,3
40	12,6	25,8	24,3
120	16,8	24,7	19,4
200	17,6	23,4	19,8
280	12,8	22,2	26,2
360	18,2	20,2	21,6

ción podrá ser el mínimo, o asumir que la liberación de N sólo sea superior en el 80% de los casos, o elegir un riesgo tal que exista deficiencia de N en el 50% de los casos.

Un ejemplo de aplicación del balance simplificado

Asumiendo a priori la simplificación de que la fertilización no modifica el valor de la mineralización, la ecuación de balance puede ser representada por la **ecuación 3** que utilizaremos en nuestro trabajo. El coeficiente c es una medida de la eficiencia global del N en el sistema, que engloba las pérdidas de N desde las distintas fuentes, ya que en los trabajos realizados no se midieron las distintas pérdidas (gaseosas, por lixiviación, etc.).

CUADRO III.

Valores de mineralización (N_{\min}) calculados en los tratamientos testigo en varios ensayos y años de experimentación.

Año	N_{\min} (kg ha ⁻¹)
1999	169,8
2000	43
2003a	107
2003b	54
2003c	103
2004a	83
2004b	88
2004c	59
2005	103
2006a	35
2006b	55

Ecuación 3.

$$b \cdot Y = (N_{\text{irri}} + N_{\text{ini}} + N_{\text{min}}) / c + N_f$$

donde, b= cantidad de N absorbido por unidad de producción (kg t⁻¹); Y= rendimiento objetivo (t ha⁻¹); N_{irri} = N aportado con el agua de riego (kg ha⁻¹); N_{ini} = contenido de N mineral a la siembra (kg ha⁻¹); N_{min} = N mineralizado (kg ha⁻¹); N_f = N aplicado como fertilizante (kg ha⁻¹), c = eficiencia global.

Considerando los datos presentados anteriormente, generados a partir de ensayos de campo realizados por nuestro equipo de trabajo, las cifras serán las siguientes:

1. Las necesidades de N del cultivo para producir una tonelada de grano consideradas son de 20 kg/t de grano. Para un rendimiento objetivo de 15.000 kg/ha las necesidades serán de 300 kg N ha⁻¹.

2. Los aportes de riego medios para la zona de estudio para un maíz de ciclo 700 FAO, son de 652 mm. El contenido de NO_3^- del agua aplicada es de 27 mg l⁻¹, lo que representa un aporte de N de 40 kg ha⁻¹.

3. Consideramos un valor de N mineral inicial a la siembra de 53 kg ha⁻¹, este valor se determina a partir de un muestreo de suelo.

4. Asumiendo un mínimo riesgo, el valor de N mineralizado considerado es de 51 kg N ha⁻¹.

5. Asumimos un valor de eficiencia bajo para disminuir el riesgo, de 0,75.

Utilizando estos valores en la ecuación del balance, tendremos:

$$300 \text{ kg N ha}^{-1} = N_f + (40 \text{ kg ha}^{-1} + 53 \text{ kg ha}^{-1} + 51 \text{ kg N ha}^{-1})$$

$N_f = 300 \text{ kg N ha}^{-1} - 144 \text{ kg N ha}^{-1} = 156 \text{ kg N ha}^{-1}$. Este último valor se divide por la eficiencia c = 0,75, quedando $N_f = 208 \text{ kg N ha}^{-1}$, cantidad final de N a aportar como fertilizante.

Conclusiones

En el ambiente estudiado el contenido de N mineral inicial en el suelo ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) por sí solo no muestra una relación clara con el rendimiento del cultivo y no permite definir la dosis de N a aplicar. Es fundamental considerar el N aportado por el suelo y el N en el agua de riego.

Para el cultivo de maíz, si consideramos los contenidos de N presentes en el sistema que permiten alcanzar un rendimiento de 15.000 kg ha⁻¹, el N aportado por el suelo + el agua de riego, representa entre el 28 y el 48% del N necesario para alcanzar ese rendimiento. Para el cultivo de cebada estos porcentajes oscilan entre 37 y 58% mientras que para el cultivo de trigo el rango oscila entre 12 y 52%. Estos porcentajes representan la cantidad fertilizante que puede ahorrar el agricultor si aplica el método del balance de N simplificado.

El término de la mineralización es el que presenta mayor variabilidad y mayor complejidad. Es fundamental poder cuantificarlo de la forma más precisa para definir la dosis de N a aplicar. En este momento está en ejecución un proyecto centrado en profundizar el estudio de la mineralización de N en cereales sembrados sobre distintos precedentes. El objetivo final es sincronizar la liberación de N en los momentos de demanda de N por parte del cultivo. ●

Agradecimientos

Parte de los datos presentados han sido generados dentro del proyecto INIA RTA03-066-C4-2, CICYT AGL2001-2214-C06-01 y por convenio de colaboración con la empresa Fertilberia.

Bibliografía ▼

- Maturano, Marisa. 2002. Estudio del uso del agua y del nitrógeno dentro del marco de una agricultura sostenible en las regiones Castellano-Manchega y Argentina. Tesis Doctoral. 246 pp. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Meisinger, J. J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems, in: Hauck, R. D. (Ed.), ASA-CSSA-SSSA, Madison WI, Nitrogen in crop production, 1984, pp. 391-416.
- Rémy, J. C., Hébert, J. 1977. Le devenir des engrais azotés dans le sol, C. R. Acad. Agric. Fr. 163 (1977) 700-714.
- Ritchie, S. W. and Hanway, Y. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Iowa Special Report N° 48.