

Fertilización nitrogenada en maíz con las nuevas variedades híbridas altamente productivas

Revisión de los criterios seguidos tradicionalmente para el abonado con N de este cultivo

El objetivo de este artículo es revisar y poner en cuestión los criterios de recomendación de fertilización nitrogenada en las variedades altamente productivas de maíz, donde es factible llegar hasta las 20 t/ha en parcelas comerciales.



**Josep M. Villar¹, Miquel Pascual¹,
Hemza Belguerri^{1,2}, Josep Rufat², Pere Villar³.**

¹ DMACS-DHBJ. Universidad de Lleida.

² Programa Uso eficiente del agua. IRTA. Lleida.

³ Laboratorio Ilersap. Lleida.

Los rendimientos de maíz (*Zea mays* L. ssp. *mays*) han mejorado por la introducción de variedades híbridas con un potencial genético cada vez más alto, y por la optimización de las prácticas agronómicas. Tradicionalmente se ha considerado el

maíz como un cultivo muy exigente en nitrógeno. En esta línea, Betrán (2010) sitúa las necesidades de N del maíz en un máximo de 28-30 kg N por tonelada de grano. Este índice se ha generalizado para el cálculo de las necesidades de abonado, aunque se presentan

variaciones; por ejemplo los consultores locales utilizan el criterio de 23 a 25 kg N/t. Es decir para una producción objetivo de 15 t/ha se recomiendan hasta 375 kg N/ha. El fundamento de estos valores para la estimación de las necesidades de N, está en la concentración (o contenido) de N en grano, que como se verá más adelante está sobrevalorada. Además, ya en el año 1990, Cerrato y Blackmer indicaron que la concentración de N en el grano no es un indicador fiable del estado del N en cultivo del maíz.

La fertilización nitrogenada se ha relacionado con el potencial productivo del maíz, de forma que a más potencial productivo se suponen mayores extracciones de nitrógeno. En general, el N se aplica en cantidades elevadas en el cultivo del maíz, especialmente en condiciones de regadío para la producción de grano y con objetivos productivos superiores a las 10 t/ha. Sin embargo, la mejora genética en el cultivo de maíz se ha orientado principalmente a la producción de almidón y, secundariamente, los niveles de proteína no han aumentado en la misma proporción al no constituir un objeto de mejora en esta especie. Ello conlleva que, en la actualidad se obtengan mayores rendimientos de grano por hectárea, sin que la cantidad de proteína por hectárea aumente de igual modo. Ello es debido a que las variedades de maíz actuales presentan, en muchos casos, concentraciones de N en grano inferiores a las del pasado, aunque ello debe ser tratado con mayor detalle y con más datos para corroborar esta información. En los últimos años, la Administración pública y las empresas privadas han financiado numerosos estudios para evaluar los efectos productivos y ambientales de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz y a pesar de este gran esfuerzo el impacto en la racionalización de la práctica del abonado



Foto 1. Detalle del coleóptilo que emerge del grano de maíz.

todavía no es del todo satisfactorio. También hay que destacar el esfuerzo por desarrollar fertilizantes con tecnologías que incluyen inhibidores (de

CUADRO I. RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE N EN GRANO Y EL PORCENTAJE ESTIMADO DE PROTEÍNA (FACTOR 6,25)

Concentración de N en el grano (%)	Proteína (%)
1,10	6,88
1,15	7,19
1,20	7,50
1,25	7,81
1,30	8,13
1,35	8,44
1,40	8,75
1,45	9,06
1,50	9,38
1,55	9,69
1,60	10,00
1,65	10,31
1,70	10,63
1,75	10,94
1,80	11,25
1,85	11,56
1,90	11,88

la nitrificación y de la ureasa) con la finalidad de reducir el impacto en el medio ambiente (pérdidas de N por lavado de nitratos, volatilización y desnitrificación) y al mismo tiempo aumentar la eficiencia en el uso del nitrógeno (Abalos *et al.*, 2014).

El interés de este artículo de divulgación se centra en la revisión, a partir de los resultados de diversos experimentos de fertilización, de las recomendaciones tradicionales de fertilización nitrogenada en cultivos de maíz para grano. Ello puede presentar algunas ventajas potenciales para optimizar la producción, reducir los costos, reducir la contaminación, contribuir a reducir la producción de gases de efecto invernadero y su impacto en el cambio climático.

Estado actual de los criterios de recomendación de N

El método más utilizado para determinar el contenido de N en el grano es el método Kjeldahl, mientras que la proteína es estimada habitualmente multiplicando el porcentaje de N en grano por un factor de 6,25. Aunque parece ser que este valor de 6,25 sobreestima el contenido en proteína; Sripem *et al* (2011) proponen un coeficiente de 5,68 (como en el trigo) como más indicado para el maíz. En este artículo se utilizará el coeficiente de 6,25 (**cuadro I**) que aún es considerado como de referencia en la mayoría de trabajos sobre el tema. En la tesis doctoral de Cloyce (1981) se indican valores críticos de N en grano variables según la variedad y el nivel de N aplicado, oscilando entre 1,4 y 1,7%, con un valor promedio de 1,54% (9,6% de proteína). Gabriel y Quemada (2011) obtuvieron concentraciones de N en grano que oscilaron entre 1,16 y 1,35%, para producciones que variaron entre 8,45 y 14,92 t/ha y que supusieron unas

extracciones por parte del grano de entre 110 y 179 kg N/ha, y considerando la planta entera, de entre 172 y 223 kg N/ha. Kärner *et al.* (2002) en un experimento de maíz realizado en 1998 obtuvo 11.920 kg/ha con una concentración de N en grano de 0,82%. Guillaumes (2008) en un ensayo con maíz OMG obtuvo concentraciones de N en grano que



Foto 2. Distinta respuesta del cultivo (verdor) a diferentes dosis de N.

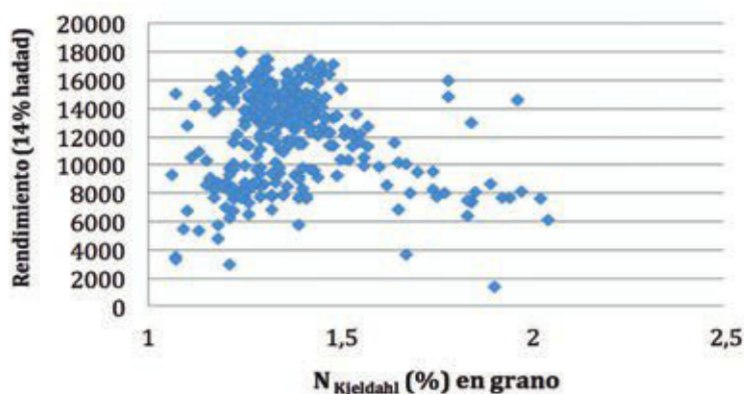
oscilaron entre 1,07 y 1,32% en 2002 y entre 1,18 y 1,27% en 2003 en los tratamientos con fertilización N, y con absorciones totales de N que oscilaron entre los 130 y los 280 kg N/ha. Ciampitti y Vyn (2012) dan un valor promedio de N en grano de 1,088%, es decir 10,88 kg N/t. Similar a Heckman *et al.* (2003) con un intervalo entre 8,6 y 14 kg N/t. Lloveras *et al.* (2012), estiman que para producir 13 t de maíz grano por ha se necesitan unos 300 kg N/ha (es decir 23 kg N/t). Los mismos autores concluyen con acierto que es muy difícil dar recomendaciones de fertilización nitrogenada y más cuando los ensayos experimentales, incluso con producciones muy elevadas, no dan respuestas positivas a aplicaciones superiores a los 250 kg N/ha.

Se estima que un 78% de productores de maíz aplican más de 300 kg N/ha en el valle del Ebro (Lloveras *et al.*, 2012). Cela *et al.* (2011) recomiendan, de forma acertada, reducir considerablemente las dosis de N aplicado cuando se siembra maíz después del cultivo de alfalfa tal como apuntan los servicios de extensión en EE.UU. (Bundy, 2004). Ferrer *et al.* (2003) y Berenguer *et al.* (2009) ya indicaron la necesidad de cuantificar la presencia de N mineral en el suelo y

basar las recomendaciones de fertilización N no únicamente en el rendimiento objetivo sino en la disponibilidad de N para el cultivo (N aplicado más el N mineral inicial antes del abonado de fondo o antes del abonado de cobertera presente en el suelo). En algunos países las recomendaciones de N varían según el potencial productivo y el contenido de materia orgánica del suelo. También se recomienda aumentar ligeramente las aportaciones de N cuando se deja la paja en el suelo. La

práctica del manejo de residuos es muy variable ya que algunos años si se cotiza en el mercado la paja no se entierra. Bertrán (2010) plantea un balance de nutrientes, con entradas y salidas, y estima que para una producción de 12 t/ha se tendrían que aportar 259 kg N/ha. La hipótesis del presente trabajo es que si se establece una cantidad fija del orden de 27 kg N/t (incluye grano y parte aérea) las necesidades de nitrógeno se incrementan demasiado para objetivos productivos de entre 15 y 20 t/ha y la experiencia demuestra que no es así. Hay que tener en cuenta que cada vez más, bastantes agricultores superan las 15 t/ha en el valle del Ebro si disponen del agua de riego suficiente y realizan un control adecuado de plagas, enfermedades y malas hierbas y utilizan semillas de variedades con un elevado potencial productivo. El objetivo de este artículo es revisar y poner en cuestión los criterios de recomendación de fertilización nitrogenada en las variedades altamente productivas de maíz, donde es factible llegar hasta las 20 t/ha en parcelas comerciales.

FIG 1. Relación entre el rendimiento (14% humedad) y el contenido de N en grano (%) (n=316)



Materiales y métodos

Para realizar el presente estudio se han tomado datos experimentales de 8 experimentos de campo (316 parcelas elementales) realizados entre 2012 y 2015. Las parcelas elementales eran de 81 m² (9 x 9 m). Los datos corresponden a ocho cultivares distintos (ciclos FAO 600-700, y únicamente un ensayo se realizó con un ciclo FAO 280), y los experimentos se han realizado en distintos tipos de suelos. Todos los suelos son calcáreos con texturas medias pero con profundidades que van de poco profundos (40-50 cm) a muy profundos (más de 120 cm). En siete casos el riego era por aspersión y en un caso riego a manta. En el material vegetal (grano y paja) el contenido de N se determinó por el método Kjeldahl y se expresa en porcentaje sobre materia seca. Todas las determinaciones analíticas se realizaron en el laboratorio llersap (Lleida). La cantidad de N absorbido por el grano se calculó multiplicando la producción de grano (base materia seca) por la concentración de N. El N total absorbido se refiere a las extracciones totales del grano y la paja de maíz y no incluye ni el rastrojo ni el contenido de N en las raíces.

Resultados

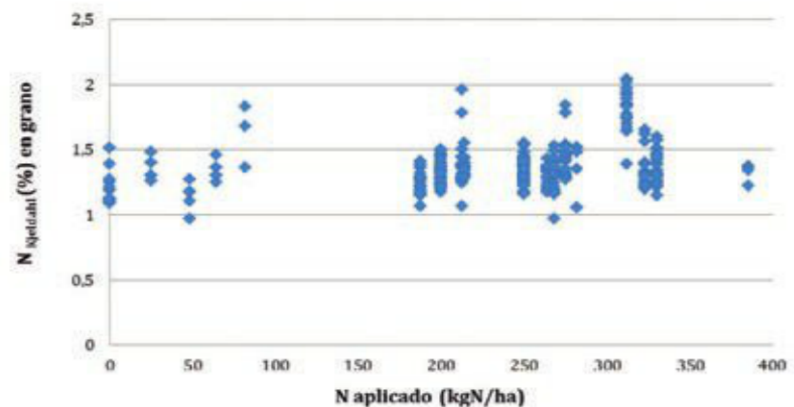
Respuesta del maíz a la aplicación de N

El contenido medio de N en grano (n=316 parcelas) ha resultado de 1,36% ($\pm 0,17$) con un CV = 12,5%. Esto implica unas extracciones de 13,6 kg N por t de grano. El contenido medio de proteína ha resultado de 8,5%.

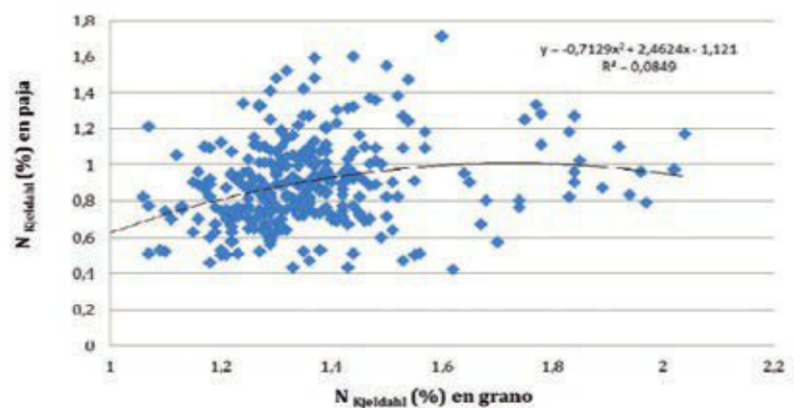
Si se observa la **figura 1** se puede comprobar que los rendimientos más altos (> 16 t/ha) se corresponden con un contenido de nitrógeno moderado, entre 1,2 y 1,4% de N aproximadamente. Aunque de la misma figura se puede

FIG 2.

a) Relación entre el N aplicado y el contenido de N en grano (%) (n=316).



b) Relación entre el N en grano y el contenido de N en la paja.



concluir que no existe una relación clara entre el rendimiento y el contenido de proteína en el grano de maíz.

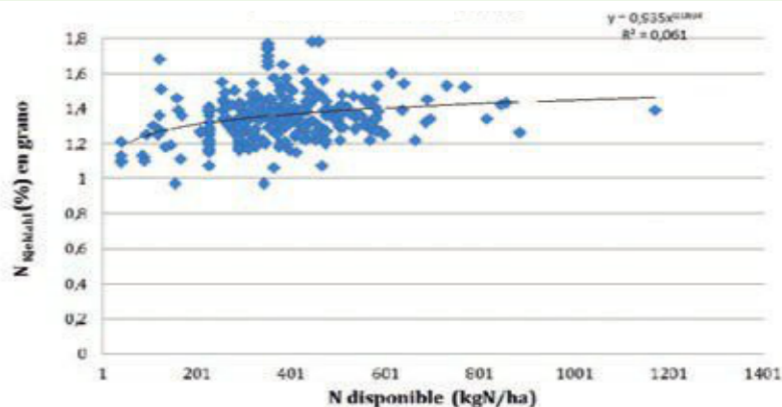
La **figura 2a** muestra que tampoco existe relación entre la cantidad de N aplicado, expresado en kg N por hectárea, y el contenido de N en el grano (%). Tampoco existe una relación clara entre el N en grano y el N en la paja como puede observarse en la **figura 2b**.

Si consideramos un índice de cosecha del 50% (0,5), como se ha encontrado de

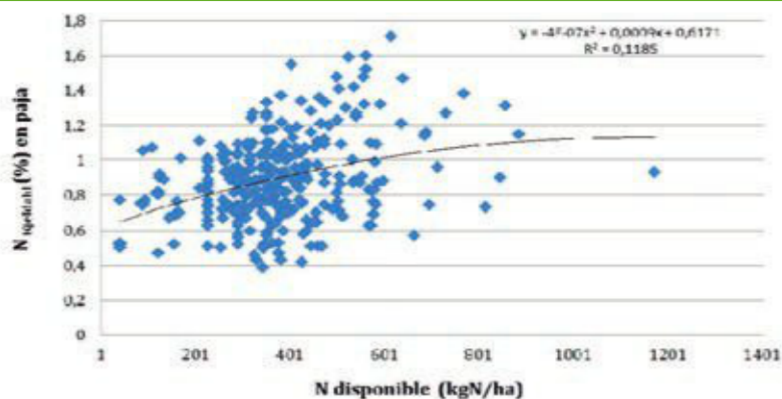
media en las parcelas experimentales, podemos estimar la cantidad total de N absorbido. El índice de cosecha es la relación entre el peso del grano y el peso total de la parte aérea (grano más cañote –o paja– y hojas). También se ha considerado que el reparto de N entre el grano y la paja es en la proporción (0,7/0,3), es decir, que del N total absorbido el 70% se encuentra en el grano. En general, es frecuente observar una proporción 70/30 entre el N en el

FIG 3.

a) Relación entre el N disponible y el contenido de N en grano (%) (n=316).



b) Relación entre el N disponible y el contenido de N en la paja.



grano y el N en la paja, aunque ésta disminuye cuando la aplicación de N es excesiva. Para la relación 70/30, se estima una concentración de 0,58% de N en la paja. La presencia de elevadas concentraciones de N en el tallo y en las

hojas cuando ya se ha alcanzado la madurez fisiológica indica que se puede hablar claramente de “consumo de lujo” por parte de la vegetación de la planta, como ocurre con otros nutrientes. En las **figuras 3a y 3b** se observa que la

disponibilidad de N (N mineral en el suelo en forma de nitratos más el N aplicado como fertilizante) prácticamente no afecta a la concentración de N en grano, y que, en todo caso, afecta algo más al N en paja. Es decir que una elevada disponibilidad de N en el suelo favorece la acumulación de N en el tallo y las hojas.

En un estudio llevado a cabo a principio de los 90 en la zona regable de los canales d’Urgell (Villar *et al.*, 2002) en parcelas comerciales de maíz, los niveles de N disponible para el cultivo superaban en todos los casos los 370 kg N/ha, sin obtener respuesta del rendimiento de grano de maíz. En el presente estudio, un 45% de las parcelas (140 de 316) disponían de más de 370 kg/ha, sin que haya mejorado el rendimiento (**figura 4**). Lo que parece indicar la necesidad de mantener el cultivo por debajo de disponibilidades de N tan altas. Ello únicamente puede conseguirse con buenas prácticas de fertilización, sin riesgo a que haya afectación en los resultados del cultivo y a las buenas prácticas de cultivo en general.

Planteamiento del abonado nitrogenado según las extracciones del cultivo

En el ejemplo que se presenta a continuación en el **cuadro II**, se supone una producción objetivo de 15,5 t (14% de humedad) por hectárea y se estima que el contenido medio de N en el grano es de 1,36% y de la paja del 0,58%. El contenido de proteína del grano sería en este caso de un 8,5% (1,36*6,25). Se ha considerado un índice de cosecha de 0,5. El N total absorbido por la parte aérea del cultivo se estima en 258 kgN/ha. Por todo ello, se propone el **cuadro III** donde se indican a título orientativo las cantidades máximas a aportar y que pueden ajustarse en base al cultivo

CUADRO II. ESTIMACIÓN DEL N PRESENTE EN EL GRANO Y EN LA PAJA DEL MAÍZ.

Producción (14% hdad) (t/ha)	Producción (0% hdad) (t/ha)	Contenido medio de N en grano (%)	N absorbido por el grano (kg/ha)	N paja (%)	N presente en la paja (kg/ha)	N total absorbido (grano más paja) (kg/ha)
15,5	13,3	1,36	180,8	0,58	77,5	258

precedente, y/o al nivel de MO del suelo. Por supuesto estas tablas son unas directrices que deben adaptarse y mejorarse con la experiencia y las características particulares de cada zona pero son una herramienta de utilidad en la situación actual de conocimiento.

Consideraciones complementarias en la planificación del abonado

En el **cuadro III** se han reflejado las aportaciones en una situación media, no limitante, para el cultivo de maíz, reflejando la idea central relativa a su alta capacidad de aprovechamiento del nitrógeno.

En el valle del Ebro, con un manejo del agua de riego adecuado, y en suelos con texturas medias, se alcanzan producciones muy elevadas (>16 t/ha) con aplicaciones que no superan los 250

CUADRO III. CANTIDADES MÁXIMAS A APORTAR DE N POR HA EN VARIEDADES HÍBRIDAS DE MAÍZ ALTAMENTE PRODUCTIVAS EN CONDICIONES DE MANEJO Y DE MEDIO ADECUADAS.

Producción de grano t/ha (14% de humedad)	Cantidad de N a aportar en kg/ha
12	200
12,5	209
13	217
13,5	225
14	234
14,5	242
15	250
15,5	259
16	267
16,5	275
17,5	275
18	275
18,5	275
19	275
19,5	275
20	275

kg N/ha y con variedades híbridas de maíz altamente productivas. Ello conlleva la necesidad de valorar la importancia de otras fuentes de nitrógeno relacionadas con las diferentes situaciones que pueden darse en el cultivo.

La disponibilidad de N al inicio de campaña, crucial para planificar los abonados de fondo y de cobertera, puede valorarse mediante el contenido de nitratos en el suelo. Por ello, es recomendable realizar uno o varios análisis de nitratos en suelo antes del abonado de fondo o del abonado de cobertera según cuántas sean las unidades de gestión utilizadas en la explotación.

La medida de nitratos es útil, en parte, para evaluar la oferta de N de la materia orgánica del suelo, que va a condicionar la disponibilidad de N durante el ciclo de

Variedades KWS.
Híbridos para ganar.



KONTIGOS Nuevo

FAO 600

Lo que quieres de un 700 en un ciclo 600

- Excelente potencial productivo.
- Gran sanidad, alta resistencia a calda.
- Un todoterreno, seguro año tras año.

www.kws.es

SEBRANDO
EL FUTURO
DESDE 1856



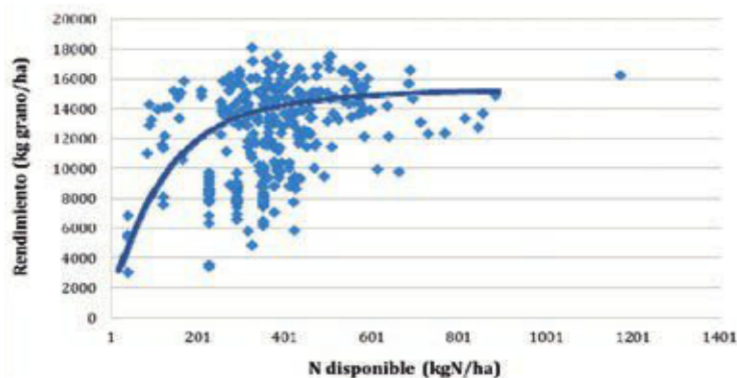


Foto 3. Mazorca de maíz el día de la cosecha.



Foto 4. Detalle de capa negra en grano (indica que ha alcanzado la madurez fisiológica).

FIG 4. Relación entre N disponible y rendimiento en grano (14% de humedad).



crecimiento del maíz, principalmente durante el verano. Aunque, no puede prescindirse del conocimiento del porcentaje de materia orgánica para estimar el N potencialmente disponible por mineralización. También hay que considerar el efecto del cultivo anterior (principalmente si se ha cultivado alguna leguminosa como por ejemplo alfalfa (*Medicago sativa* L.) y el manejo de la paja (en caso de dejarla en el suelo, es conveniente aplicar N –entre 25 y 40 kg N/ha– para favorecer su descomposición). Por otro lado, en las comunidades de regantes donde se reutiliza agua (escorrentía y drenaje) es conveniente disponer de análisis de aguas para conocer la concentración de nitratos en ella y valorar su importancia en cuanto a fuente de nitrógeno para el cultivo; por ejemplo según el trabajo realizado por Capell y Villar (2009) la aportación de N con el agua de riego puede alcanzar los 90 kg/ha en cultivo de maíz en algunos municipios del Pla d’Urgell (Lleida). ■

BIBLIOGRAFÍA

Existe una amplia bibliografía a vuestra disposición que podéis solicitar a los autores de este artículo.

Conclusión

Las cantidades de N a aportar varían con el objetivo productivo hasta un cierto nivel. Los numerosos experimentos llevados a cabo en el valle del Ebro por investigadores de Aragón y Cataluña han demostrado que no se obtienen rendimientos más altos con aplicaciones muy elevadas de fertilizante N y por ello debe racionalizarse su uso. Por este motivo, las cantidades de N a aportar no deberían superar en ningún caso los 275 kg N/ha. Para la mayoría de agricultores con rendimientos medios alrededor de las 12 t/ha, el aporte de 200 kg N/ha es más que suficiente. Insistir, por último, en la necesidad de realizar análisis de nitratos en el suelo antes del abonado (bien sea de fondo o de cobertera) para mejorar la recomendación en el uso del nitrógeno.