



La determinación de nitratos en la base del tallo en el cultivo del maíz como herramienta de diagnóstico

Ayuda a mejorar la fertilización y a reconsiderar todas las fuentes de N disponibles

**Josep M Villar¹, Miquel Pascual¹,
Josep Rufat², Pere Villar³.**

¹ DMACS-DHBJ. Universidad de Lleida

² Programa Uso eficiente del agua. IRTA. Lleida

³ Laboratorio Ilersap. Lleida

La práctica de la fertilización, que supone un coste relevante en la producción del maíz, continúa sin estar resuelta a escala de parcela. En este artículo nos centraremos en la fertilización nitrogenada, ya que la fertilización de otros nutrientes requiere un enfoque muy distinto. El objetivo de este estudio es demostrar que el análisis de nitratos en la base del tallo en cosecha es una herramienta que permite retroalimentar la toma de decisiones en la planificación de la fertilización nitrogenada del maíz.



Las recomendaciones de abonado en cultivo de maíz grano (*Zea mays* L.) deben ajustarse a los objetivos productivos en cada explotación. En los últimos años las nuevas variedades de maíz han aumentado las expectativas productivas y ya no es tan extraño que en determinadas explotaciones comerciales se alcancen producciones medias en el conjunto de la explotación que superen las 15 t ha⁻¹, con valores puntuales cercanos a las 20 t ha⁻¹ en algunas parcelas, siempre que se den las condiciones de manejo del agua adecuadas. La mejora genética y la introducción de variedades modificadas genéticamente (MG), han facilitado el acceso a estas elevadas capacidades productivas. La superficie plantada de maíz grano en regadío fue de 429.456 ha en el año 2014 (Magrama, 2014) y el rendimiento medio en regadío para el conjunto del estado fue inferior a los 11.000 kg/ha.

En el Valle del Ebro el uso de variedades de maíz MG está muy generalizado y

las expectativas productivas son bastante elevadas. Sin embargo las producciones finales son muy variables según los suelos, el sistema de riego y sobre todo el manejo del riego y el control de malas hierbas. Como consecuencia de todo ello, la práctica de la fertilización, que supone un coste relevante en la producción del maíz, continúa sin estar resuelta a escala de parcela. En este artículo nos centraremos en la fertilización nitrogenada, ya que la fertilización de otros nutrientes requiere un enfoque muy distinto.

Las extracciones de N por parte del cultivo de maíz dependen de la concentración de N en el grano y en el resto de la planta. En promedio, el grano contiene alrededor de un 70% del N total en la planta. Las exportaciones de N a nivel de parcela van a depender de la gestión de los residuos del cultivo anterior. El N disponible para un cultivo variará según el N presente en el suelo al inicio del ciclo de cultivo (amonio + nitratos) (nitrógeno mineral residual), el N

que aporte el agua de riego, la mineralización de la materia orgánica del suelo y el N aplicado como fertilizante. El uso de deyecciones ganaderas (principalmente purines de cerdo) y otros productos de origen orgánico como abonado de fondo dificulta la planificación más adecuada de la fertilización nitrogenada y en general lo que provoca es que la disponibilidad de N para el cultivo de maíz sea más elevada de la necesaria.

La determinación de nitratos en la base del tallo en la cosecha (en algunos casos referido como Post Mortem Tissue Test) (Havlin y col., 2005) permite evaluar si la disponibilidad de N ha sido excesiva (la suma de todos los componentes descritos anteriormente) (Blackmer y Schepers, 1994). La interpretación de los niveles de nitratos en la base del tallo se muestra en el **cuadro I**. La categoría “bajo” todavía se puede separar en niveles de menos de 250 ppm (bajo) y entre 250 y 700 ppm (marginal) (Blackmer y Mallarino, 1996).

El establecimiento de un intervalo óptimo (entre 0,7 y 2 g N-NO₃/kg) permite identificar tanto las deficiencias de N como los excesos de N (Binford y col., 1992). Al tratarse de un análisis de planta realizado en madurez fisiológica, la información que podemos extraer únicamente nos sirve como retroalimentación en la planificación de la fertilización futura del cultivo de maíz. En un principio el método se ha desarrollado para la producción de maíz grano, pero también se ha evaluado para maíz para ensilar (Hooker y Morris, 1999).

Otros métodos, como la determinación de los nitratos en la base del tallo en estados iniciales de desarrollo del maíz (V6) también se han correlacionado con la disponibilidad de N (Iversen y col., 1985) pero su uso no se ha generalizado. En 1994, Villar y col. (2000) llevaron a cabo un estudio con seis tratamientos de nitrógeno en el que demostraron que la determinación de nitratos en la base del tallo en el estadio V6 y en el estadio de polinización, variaba

según la disponibilidad de N. En este estudio se concluyó que tanto el análisis de nitratos como la determinación del N Kjeldahl en la base del tallo eran útiles como herramientas de diagnóstico.

La ventaja de la determinación de los nitratos es que el análisis se puede llevar a cabo en el propio campo con un colorímetro portátil. Por el contrario el análisis de nitratos en el suelo antes del abonado de cobertera (PSNT) sí que se utiliza más en países con mayor tradición el uso de herramientas de diagnóstico. El método de la determinación de nitratos en la base del tallo en cosecha así como la determinación de nitratos en el suelo también en cosecha se configuran como dos análisis de gran utilidad para racionalizar la fertilización nitrogenada del maíz (Schröder y col, 2000).

Más recientemente, Kyveryga y col. (2010) han utilizado los análisis de nitratos en la base del tallo del cultivo de maíz como base de un amplio estudio para determinar los factores que afectan a la disponibilidad de N como son la forma de N utilizada como fertilizante, el momento de aplicación, el tipo de suelo, el cultivo anterior, y las condiciones meteorológicas.

El objetivo de este estudio es demostrar que el análisis de nitratos en la base del tallo en cosecha es una herramienta que permite retroalimentar la toma de decisiones en la planificación de la fertilización nitrogenada del maíz.

Materiales y métodos

Para realizar el presente estudio se han tomado datos experimentales de seis experimentos de campo (232 parcelas elemen-

tales) realizados entre 2012 y 2014. Las parcelas elementales eran de 81 m² (9 x 9 m) (**foto 1**). En todas las parcelas se muestrearon unas cinco plantas por parcela elemental, cortando 20 cm de la base del tallo, a unos 15 cm de la superficie del suelo (**foto 2**). No se tuvo en cuenta la presencia o no de nudos en las muestras, pues la concentración de nitratos en los nudos no difiere de la concentración en el segmento intermodal (Wilhelm y col, 2005). El procedimiento en el laboratorio fue el secado a 60°C, trituración y su posterior tamizado. Los nitratos se extrajeron por agitación de las muestras con agua desionizada durante 30 minutos y se filtró la solución con papel de filtro Whatman N.6. La lectura se realiza por cromatografía iónica. Todas las determinaciones analíticas se realizaron en el laboratorio Ilersap.



Foto 1. Detalle de parcelas experimentales.



Foto 2. Detalle de la toma de muestras de la base del tallo del maíz.

El contenido de nitratos se expresa como nitrógeno ($N-NO_3$) y las unidades en ppm es decir $mg\ N-NO_3\ kg^{-1}$ de materia seca, aunque también suele expresarse en $g\ N-NO_3\ kg^{-1}$. Para realizar el análisis de la información se han tenido en cuenta los nitratos presentes en el suelo al inicio del ensayo en los primeros 40 cm de profundidad, la cantidad de nitrógeno aplicada tanto en fondo como en cobertera, los nitratos presentes en la base del tallo después de madurez fisiológica y el rendimiento en grano de maíz (estandarizado al 14% de hu-

medad). La cantidad de N disponible se calculó como la suma del N en forma de nitratos presente en el suelo más el N aplicado y no incluye la mineralización de la materia orgánica del suelo. La contribución de la mineralización de la materia orgánica del suelo a la disponibilidad total de N puede ser muy significativa aunque no se tuvo en cuenta en este estudio.

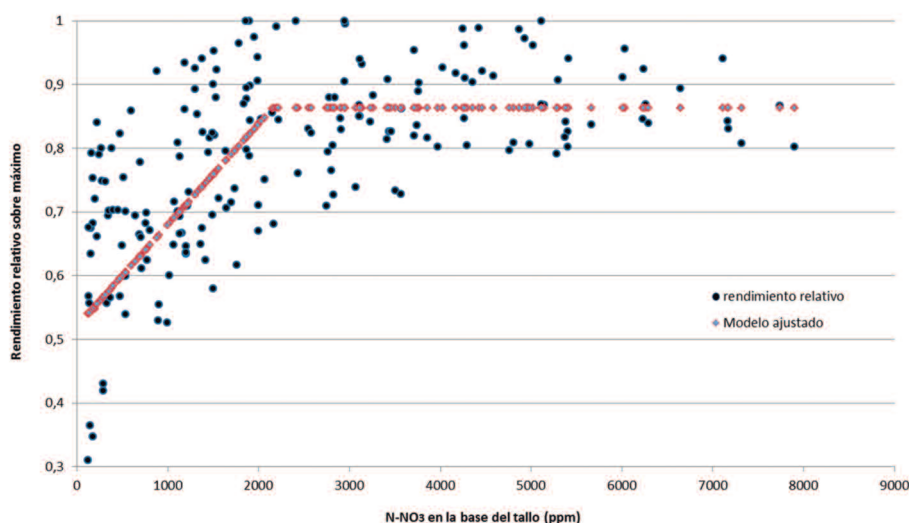
Resultados

Se encontró una relación clara entre los nitratos en la base del tallo y el rendimien-

to relativo (figura 1). Mediante el algoritmo de Gauss-Newton de mínimos cuadrados se ha ajustado una función segmentada en dos etapas. Un primer segmento que nos indica que el rendimiento aumenta linealmente con el contenido de nitratos en la base del tallo. La segunda parte de la función es plana y nos indica que a partir de una determinada cantidad de nitrógeno en forma de nitratos en la base del tallo, ya no existe un aumento del rendimiento.

La ecuación del primer segmento (para valores entre 0 y 2.162) es de la forma que indica la ecuación 1.

FIG 1. Relación entre la presencia de nitratos en la base del tallo y el rendimiento relativo.



Ecuación 1.

$$\text{Rendimiento relativo} = 0,516 + 0,00016 \cdot \text{NBT}$$

El segundo segmento indica que para valores superiores a 2.162 ppm, se mantiene un Rendimiento relativo = 0,86

Donde NBT son los nitratos en la base del tallo expresados como $mg\ N-NO_3\ kg^{-1}$. El intervalo de confianza oscila entre 1.785 y 2.624.

Para las condiciones de los ensayos, el nivel superior de NBT estaría en los 2.624 ppm, valor por encima del cual se podría afirmar que el cultivo de maíz ha tenido un exceso de N disponible que no ha contribuido al incremento del rendimiento de grano. Por debajo de 1.785 ppm indica una disponibilidad baja de N para el cultivo de ma-

CUADRO I

INTERPRETACIÓN DEL CONTENIDO DE NITRATOS EN LA BASE DEL TALLO (HAVLIN Y COL., 2005).

N-NO ₃ en la base del tallo (ppm)	Estado del N en la planta	Recomendaciones
0-700	Bajo	Aumentar la dosis de N
700- 2.000	Óptimo	Dosis de N adecuada para una producción óptima
> 2.000	Exceso	Dosis de N o disponibilidad de N en exceso a los requerimientos del cultivo

CUADRO II

RESUMEN DE PRESENCIA DE NITRATOS EN LA BASE DEL TALLO EN LOS ENSAYOS ANALIZADOS.

Número de muestras	N-NO ₃ en la base del tallo (ppm)	% sobre el total (233)	Interpretación
121	< 1.785	51,9	Indica una disponibilidad baja de N
39	1.785-2.624	16,8	Indica una disponibilidad adecuada
73	>2.624	31,3	Indica un exceso de N disponible para el cultivo de maíz

íz. Hay que tener en cuenta que el **cuadro I** se utiliza para la zona del cinturón del maíz en EE.UU. donde las producciones medias son más bajas (entre 10 y 13 t ha⁻¹) ya que mayoritariamente el agua disponible proviene de la precipitación (Fox *et al.*, 2001)

El **cuadro II** resume los resultados globales, indicando que casi un tercio de las parcelas recibieron más nitrógeno del necesario, mientras que casi un 29% de las parcelas se encontraban en déficit de este nutriente. El coeficiente de determinación del modelo, con un valor de 63%, indica que existe una proporción no desdeñable de respuesta no explicable por NBT en cuanto al rendimiento. Un 28,4% del total presentaron una concentración de NBT baja. El mayor porcentaje, un 39,7% se corresponde con una concentración de NBT entre los 700 y los 2.624 ppm (se ha escogido el nivel superior del intervalo de confianza calculado para definir este intervalo) e indica que la disponibilidad de N ha sido adecuada.

En 38 de las 233 parcelas elementales se superaron los 15.000 kg grano ha⁻¹ (un 16% del total). Los rendimientos oscilaron entre los 3.017 y los 17.179 kg ha⁻¹. En las parcelas con los rendimientos más bajos, éstos no fueron limitados por la falta de nutrientes sino por otros problemas. En-

tre los problemas observados están los provocados por un exceso de agua (encharcamiento, compactación de suelos) que provocó condiciones de asfixia (falta de oxígeno) para las raíces. Estos problemas, sin embargo, se han observado en menos de un 5% de las parcelas. Otras causas de bajos rendimientos pueden haber sido problemas puntuales por malas hierbas o disponibilidad de agua en el suelo por debajo de la necesaria.

Conclusiones

La determinación de nitratos en la base del tallo del cultivo de maíz en el momento de la cosecha permite conocer si el cultivo de maíz ha dispuesto del N suficiente para una producción óptima o si bien la cantidad de N disponible ha sido excesiva para la producción obtenida. En el presente estudio valores superiores a 2.624 ppm N-NO₃ indican una disponibilidad excesiva de N para el cultivo, mientras que valores por debajo de 1.785 ppm indicarían una disponibilidad baja de N para el cultivo de maíz. Si bien esta determinación tiene la limitación de que no permite actuar en el año en curso, sí que ayuda a reconsiderar la fertilización practicada y si ésta ha sido la más conveniente. Por ello se considera que es-

ta determinación ayuda a mejorar la fertilización en el siguiente año y a reconsiderar todas las fuentes de N disponibles.

El uso de análisis de suelos y de plantas es más bien escaso si se compara con otros países del entorno. La herramienta de diagnóstico que se presenta en este trabajo no ha sido muy utilizada y ha sido más bien objeto de algunos trabajos de carácter científico durante la década de los años 90. Sin embargo como herramienta de diagnóstico tiene plena validez y es interesante en estudios que traten de averiguar si se ha actuado de la manera más adecuada desde una visión agronómica, económica y ambiental. ■

AGRADECIMIENTOS

Las empresas que han colaborado en la realización de los ensayos de campo son BASF Española S.L., EuroChem Agro Iberia S.L., y Fertinagro Nutrientes S.L. Un agradecimiento especial a los empresarios agrarios que han facilitado los campos de ensayo y han realizado las operaciones de cultivo, Sr. Josep Alegre (Gimenells), Antonio Costa (Albesa), Sr. Farran Huguet (Sunyer) y Sr. Armengol Millas (Albesa).

BIBLIOGRAFÍA

- Binford G.D., A.M. Blackmer, B.G. Meese. 1992. Optimal Concentrations of Nitrate in Cornstalks at Maturity. *Agron. J.* 84: 881-887.
- Blackmer T.M., Schepers J.S. 1994. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25 (9-10) 1791-1800.
- Blackmer and Mallarino. 1996. Cornstalk testing to evaluate nitrogen management. Iowa State University. University Extension. PM1584.
- Fox R.H., W. P. Piekielek, K. E. Macneal. 2001. Comparison of Late-Season Diagnostic Tests for Predicting Nitrogen Status of Corn. 93:590-597.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., Nelson W.L., 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 7th edition. Prentice Hall.
- Hooker B.A., T.F. Morris. 1999. End-of-season corn stalk test for excess nitrogen in silage corn. *J. Prod. Agric.* 12:282-288.
- Iversen K.V., Fox R.H., Piekielek W.P. 1985. The relationships of nitrate concentrations in young corn stalks to soil nitrogen availability and grain yields. *Agron J* 77: 927-932.
- Kyveryga P.M., H. Tao, T.F. Morris, T.M. Blackmer. 2010. Identification of Nitrogen Management Categories by Corn Stalk Nitrate Sampling Guided by Aerial Imagery. *Agron. J.*, Vol. 102. Issue 3, 858-867
- MAGRAMA 2014. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. 2014.
- Schröder J.J., J.J. Neeteson, O. Oenema, P.C. Struijk. 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production?: Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, Vol. 66, Issue 2, Pages 151-164.
- Villar P., Villar J.M., Ferrer F., Arán M. 2000. Optimización de la fertilización nitrogenada en maíz en suelos calcáreos del área regada por los canales de Urgell (Lleida). *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* Vol. 15 (1-2) 105-123.
- Wilhelm W.W., G. E. Varvel, J. S. Schepers. 2005. Corn stalk nitrate concentration profile. *Agron. J.* 97: 1502-1507.