

La fertilización nitrogenada del maíz y el nitrógeno residual del suelo

Un factor clave tanto por su coste como por su influencia sobre el rendimiento final

E. Martínez de la Cuesta, A. Yakoub, A. Maresma, F. Santiveri y J. Lloveras.

Universitat de Lleida.

Hay tres factores básicos a considerar en la producción y rentabilidad económica del maíz: la gran aportación de la mejora genética (nuevas variedades) al incremento de rendimiento del cultivo en los últimos treinta años, la buena o excelente respuesta del maíz al abonado nitrogenado y el posible efecto contaminante del cultivo si se abona con exceso de nitrógeno, se abona incorrectamente o hay un mal manejo del riego. En este artículo vamos a analizar los dos últimos factores.



Aplicación de abonado mineral en cobertera (Bell-lloc, Lleida).

El maíz ocupa en España unas 450.000 ha (Magrama, 2014) y es uno de los cultivos herbáceos que proporciona mayor margen bruto en las zonas de regadío, sobre todo cuando acompañan los precios, si bien en cambio, tiene unos elevados costes de producción en comparación con otros cultivos extensivos (Lloveras y Cabases, 2014).

En el **cuadro I** se puede observar que el abono mineral (y su aplicación) supone un 28% de los costes totales del maíz, siendo el nitrógeno el que representa la mayor parte de este porcentaje.

Dada la elevada proporción que el gasto en abonado supone en los costes de producción, la gran influencia del abonado nitrogenado sobre el rendimiento y su posible efecto contaminante, se le da mucha importancia al abonado nitrogenado en el maíz y es objeto muchos artículos técnicos.

Necesidades de nitrógeno

Existe un gran volumen de bibliografía que ofrece recomendaciones para ajustar las dosis de N necesarias (Boixadera *et al.*, 2005; Betrán, 2010), teniendo a su vez en cuenta la necesidad de respetar la legislación de los decretos de zonas vulnerables a la contaminación por nitratos (Generalitat de Catalunya, 2009).

Aunque parezca una obviedad, hay que recordar que para que el desarrollo del cultivo sea óptimo es necesario que el maíz disponga del nitrógeno a lo largo de su ciclo, ya que cualquier déficit nutricional puede suponer una disminución en la producción. Alrededor del 70% del total de N se extrae antes de la floración.

De modo orientativo, las extracciones medias de nitrógeno por parte del maíz se presentan en el **cuadro II**. En la bibliografía existen diversas tablas de este tipo (Betrán, 2010), pero los resultados que aquí se presentan son fruto de muchas observaciones obtenidas en el valle del Ebro (Boixadera *et al.*, 2005; Isla y Quílez, 2011).

Analizando este cuadro se observa que para producir unos 13.000 kg/ha de grano (producciones medias habituales en muchas zonas del valle del Ebro) el maíz extrae unos 300 kg N/ha.

En situaciones de riego por inundación se suele perder mayor cantidad de N que bajo riego por aspersión (ya que los volúmenes de agua aportados en cada riego son mayores y pueden provocar mayores pérdidas de nitrógeno por lixiviación). Por lo tanto, las dosis de N necesarias en este sistema de riego, pueden ser mucho más elevadas y de difícil predicción (Lloveras *et al.*, 2012).

Las necesidades de nitrógeno del maíz pueden variar mucho en función del rendimiento obtenido. Por ejemplo, para una producción de 10.000 kg/ha el cultivo extrae

unos 230 kg N/ha, mientras que para alcanzar 20.000 kg/ha, el cultivo extrae unos 400 kg N/ha.

Con los razonamientos presentados, creemos que no pueden darse unas únicas y generales recomendaciones de abonado nitrogenado del maíz. Las necesidades de N dependen del potencial de rendimiento de una parcela determinada, de la dinámica de N en el suelo, y a su vez de un conjunto de factores como son el tipo de riego, fertilidad del suelo, manejo de residuos, cultivo precedente, zona de cultivo, etc.

Dosis de nitrógeno necesarias y nitrógeno residual del suelo

Ensayos de maíz monocultivo, llevados a cabo en los regadíos de Lleida entre 2002 y 2014, con unos rendimientos medios de

CUADRO I

COSTES DE PRODUCCIÓN DEL MAÍZ EN REGADÍO EN EL VALLE DEL EBRO (€/HA).

Actividad	Coste	Variación	Sobre el total (%)
Preparación del suelo y siembra	200	(136-252)	12
Semilla	270	(220-340)	17
Abono mineral	444	(288 -550)	28
Fitosanitarios	100	(80-120)	6
Recolección y transporte	130	(126-134)	8
Secado	164	(130-216)	10
Seguros	24	(20 -31)	1
Subtotal (sin agua)	1.332	(1.095-1.386)	--
Agua ¹	270	150-781	17
Total	1.602	(1.245-2.167)	
Producción esperada (kg/ha) ²	13.500	--	100
Coste por t		157 €	

(Lloveras y Bosch 2013, publicado por Lloveras y Cabases, 2014).

¹ El precio del agua varía según la comunidad de regantes. Este importe corresponde a una aplicación de unos 7.500 m³/ha.

² Las producciones de maíz pueden ser muy variables. Una producción "normal", en muchas zonas del valle del Ebro, en riego por aspersión, suele estar alrededor de los 13.000 kg/ha, en cosecha única, si bien algunos agricultores pasan con facilidad los 16.000 kg/ha y otros (muy pocos) alcanzan los 20.000 kg/ha. La climatología del año puede hacer variar las producciones en unos 2.000 kg/ha.

CUADRO II

EXTRACCIONES ORIENTATIVAS DE NITRÓGENO (PLANTA + GRANO) POR TONELADA DE GRANO PRODUCIDA (14% DE HUMEDAD).

Elemento	Extracciones medias (kg N/1.000 kg grano)	Rango (kg N/1.000 kg grano)
Nitrógeno (N)	23	22 - 27

(Boixadera *et al.*, 2005).

CUADRO III

PRODUCCIONES DE MAÍZ Y CONTENIDO DE N INICIAL DEL SUELO.
GIMENELLS 2002-2014. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO DE 0-30 CM: 1,78%

Abonado (kg N/ha)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2010	2011	2012	2013	2014
Producción de grano (kg/ha)											
200/250	14.917	13.322	14.140	13.399	13.444	14.349	13.933	16.412	15.755	15.671	15.921
300	14.505	12.590	14.421	13.223	14.538	14.787	13.994	17.170	15.523	15.977	15.960
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.603
Significación	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,05
N inicial en el suelo 0-90 cm (kg N/ha)											
200/250	300	484	120	245	158	143	72	166	99	106	101
300	395	521	136	253	91	185	70	163	172	118	137
Significación	ns	ns	ns	ns	0,05	ns	ns	ns	0,05	ns	ns

ns: no significativo.

14.500 kg/ha, mostraron que las dosis de N necesarias para la obtención de los rendimientos más elevados casi nunca superaron los 200-250 kg N/ha y que, en algún año, las dosis necesarias para llegar a los máximos rendimientos fueron inferiores a los 100 kg N/ha (**figura 1 y cuadro III**) (Biau *et al.*, 2012; Cela *et al.*, 2013). Estas cantidades son inferiores a los límites máximos permitidos para las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos,

al menos en el valle del Ebro. En Cataluña, según las comarcas, estos límites están entre 300 y 350 kg N/ha (Generalitat de Cataluña, 2009).

En la pasada campaña (2014), desde el punto de vista experimental, se plantearon en algunos ensayos de abonado, una aportación de 400 kg N/ha, pues por experiencias anteriores y por la evidencia de la mejora vegetal, se creía posible obtener una respuesta productiva a esta mayor aporte

de N. Los resultados mostraron un aumento de producción con la aportación de N hasta los 400 kg/ha, ya que se incrementó significativamente la producción y se alcanzaron 17.600 kg/ha, repartiendo el N en tres coberturas antes de floración (**cuadro III**), cuando habitualmente se repartía en dos. No se contabilizaron las pérdidas de nitrógeno por lixiviación pero dadas las elevadas dosis aplicadas, creemos que debieron ser importantes.

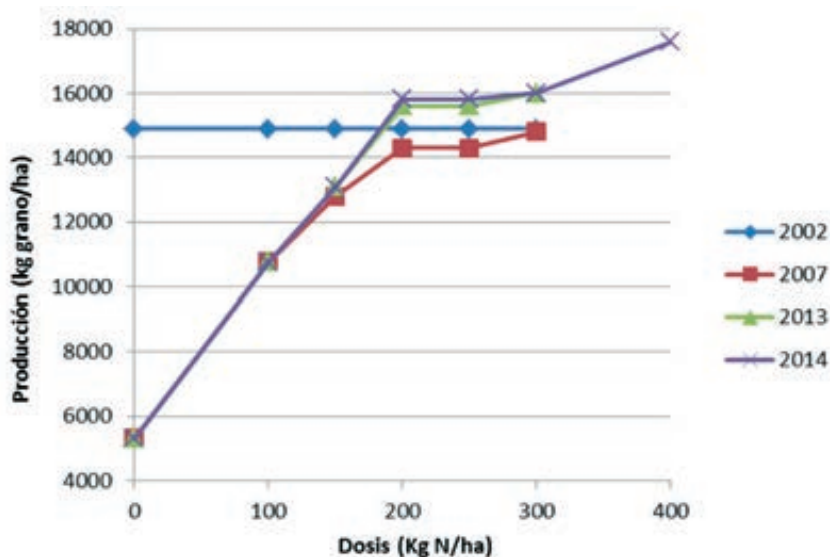
Los aspectos considerados más importantes que ayudan a explicar los resultados obtenidos con la aplicación de 400 kg N/ha, fueron tanto el reparto del nitrógeno aplicado en tres coberturas, como el buen potencial productivo de la variedad de maíz utilizada.

Con la información obtenida hasta el presente en nuestros ensayos, aplicando el N únicamente en dos coberturas, nunca habíamos recomendado dosis superiores a los 200-250 kg N/ha en riego por aspersión. Habrá que ver si en los años siguientes se confirma el efecto positivo de aportaciones superiores a 300 kg N/ha. Por ello se necesitan más ensayos para confirmar técnicamente estos resultados, que superan los límites de abonado nitrogenado permitidos por la ley en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.

Es posible que en un futuro, si la legislación medioambiental y el beneficio económico lo permiten, las cantidades de N necesarias para el cultivo de maíz (buscando las máximas producciones), vayan aumentando. La mejora genética del maíz lleva consigo un incremento continuo de la producción, si bien también es posible que la mejora varietal conduzca a híbridos más eficientes en el uso del nitrógeno y por lo tanto a que las dosis de N se puedan mantener.

Como se ha comentado anteriormente, la cantidad de abonado nitrogenado necesaria para lograr unas producciones de 14.500 kg/ha es inferior a los 300 kg N/ha en la mayoría de nuestros ensayos. Por dos razones: el empleo del abonado ni-

FIG 1. Curvas de respuesta del rendimiento del maíz (14% de humedad) a la fertilización nitrogenada, en riego por aspersión. Gimeneils, Lleida 2002-2014.



(Continúa en pág. 50)



Capa freática superficial en muchos regadíos del valle del Ebro.



El tipo de suelo es un factor básico que limita los rendimientos del maíz.



Arriba: Aplicación de N en cobertera (detalle).
A la derecha, aplicación de N líquido en cobertera.



trogenado exclusivamente en cobertera, que permite incrementar la eficiencia del fertilizante, y por la determinación de la cantidad de N en el suelo al inicio de la temporada, que frecuentemente permite sembrar maíz sin la necesidad de aplicar N en fondo.

El conocimiento de las cantidades de N en el suelo antes de sembrar es un elemento básico que ayuda a obtener buenas producciones de maíz reduciendo los costes de fertilización, ya que con dicha información, las aportaciones de N de fondo son frecuentemente innecesarias.

Éste es un hecho que los productores

de maíz deberían tener siempre presente y que la experiencia dice que se suele olvidar. La gran importancia del N residual en el ahorro de N en el maíz ya se ha comentado en anteriores artículos (Isla y Quílez, 2006; Lloveras *et al.*, 2012).

Por ello, el análisis de N del suelo, bien antes de la siembra o bien cuando el maíz tiene 2-5 hojas, antes del abonado de cobertera, es un elemento indispensable para calcular las dosis de N necesarias para abonar en cualquiera de los sistemas de riego (**cuadro IV**).

Tanto en Aragón como en Cataluña, se ha evaluado que la cantidad mínima

de nitrógeno disponible (N en el suelo + N fertilizante) necesaria para alcanzar unas producciones de maíz de 13-15 t/ha, es de unos 250 kg N/ha (Cela, *et al.*, 2013; Isla y Quílez, 2011), de los cuales una parte procede del N del suelo y otra se aporta con el fertilizante nitrogenado.

Contenido de materia orgánica del suelo

Resultados obtenidos en un ensayo en Almacelles (Lleida) reflejan la influencia del contenido de materia orgánica y del N residual del suelo. Se trata de una parcela con un buen contenido en materia

CUADRO IV

CANTIDADES ORIENTATIVAS DE N DISPONIBLE (SUMA DEL N EN EL SUELO Y DEL N DE LA FERTILIZACIÓN) EN LOS PRIMEROS 30 CM DEL SUELO, NECESARIAS PARA OBTENER LAS MÁXIMAS PRODUCCIONES DE MAÍZ GRANO.

Cultivo precedente	Tipo de riego	N disponible mínimo para alcanzar las máximas producciones	
		N en el suelo antes de la siembra + fertilización nitrogenada [kg/ha (ppm)]	N en el suelo antes del abonado de cobertera (V3-V5) + fertilización nitrogenada [kg/ha(ppm)]
Maíz o trigo	Aspersión	178 (42)	208 (52)
Maíz o trigo	Inundación	300 (70)	345 (86)

Resumen de 24 campos de ensayo (Cela et al., 2013).

CUADRO V

PRODUCCIÓN DE MAÍZ (14% HUMEDAD) Y N RESIDUAL EN EL SUELO ANTES DE SEMBRAR. ALMACELLES 2013-2014. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO DE 0-30 CM: 3,3 %.

Abonado (kg N/ha)	Producción (kg/ha)		N inicial en el suelo 0-90 cm (kg N/ha)	
	2013	2014	2013	2014
200	19.640	19.270	64	98
300	20.286	19.761	79	177
400	19.744	19.912	114	218
Significación	ns	ns	0,05	0,05

ns: no significativo.

orgánica (3,3%), fruto de muchos años de mejora de la calidad del suelo incorporando restos vegetales del cultivo y enmiendas orgánicas (**cuadro V**).

En este caso, las elevadas producciones de maíz (**cuadro V**) obtenidas con dosis relativamente bajas de N (200 kg

N/ha) creemos que son debidas, además de a un excelente estado agronómico del cultivo (variedad, densidad de plantas, uniformidad de riego, control de hierbas adventicias, sanidad del cultivo, etc.), al elevado contenido de materia orgánica del suelo, cuya mineralización supone,

según nuestros cálculos, alrededor de 250 kg N/ha/año. Analizando los **cuadros IV y V**, puede parecer que las dosis de abonado nitrogenado aplicadas para alcanzar rendimientos máximos en maíz sean bajas (si se comparan con las extracciones del cultivo), pero hay que considerar que a lo largo del ciclo de cultivo el suelo va mineralizando y liberando N que queda disponible para el mismo.

Otros aspectos del abonado nitrogenado

Como se comentó en un artículo anterior (Lloveras et al., 2012), la pregunta que hacen frecuentemente los agricultores al ver algunos de nuestros resultados, que muchos no se creen, es dónde está el truco en la reducción de las necesidades de abonado nitrogenado, cuando las encuestas en el valle del Ebro muestran que las aplicaciones más habituales superan los 300-350 kg N/ha (Sisquella et al., 2004). La respuesta, una vez más, no es única y depende de un conjunto de factores entre los que destacan el tipo y profundidad del suelo (que muchos productores desconocen), el contenido inicial de N en el suelo (que también desconocen), el fraccionamiento del abonado, cultivo precedente, la uniformidad de riego, entre otros.



Izquierda. Cosechando maíz para pastoreo.

Abajo. El abonado nitrogenado de cobertera ha dañado las hojas.



Recomendaciones finales

No hay una recomendación o una receta única de abonado nitrogenado, ya que las dosis de N a aplicar dependen de un conjunto de factores, entre los que destacan el sistema de riego, el tipo de suelo, el cultivo precedente, la climatología de la zona y del año, manejo de los residuos, el fraccionamiento del nitrógeno en coberteras, etc. Sin embargo, en sistemas de riego por aspersión y con un buen manejo del riego y del fraccionamiento del abonado, donde las producciones oscilan entre 12.000 y 15.000 kg/ha, unos 250 kg de N/ha disponible (N suelo + N fertilizante) suelen ser suficientes en la mayoría de los casos.

Los resultados parecen indicar que si se incrementan los rendimientos del maíz en un futuro próximo, debido a la mejora varietal, es posible que deban aumentarse las dosis de N por encima de las recomendaciones actuales. En las zonas de regadío el nitrógeno debería aplicarse, en la mayoría de los casos, casi únicamente en cobertera, mejor en dos o más aportaciones, para

A modo de resumen se podría indicar que las recomendaciones de abonado nitrogenado basadas únicamente en las extracciones de la planta, son una guía de aportes máximos, y que es necesario considerar otros factores como pueden ser el tipo de riego y el cultivo precedente, los cuales ayudan a ajustar las dosis de N más apropiadas.

mejorar su eficiencia y reducir las pérdidas por lixiviación. Las herramientas de ajuste, muchas de ellas basadas en los análisis de suelo, pueden ayudar a adecuar las dosis de N necesarias y con ello mejorar el beneficio económico del cultivo y a la vez reducir la lixiviación de los nitratos y su efecto nocivo sobre el medio ambiente.

Los precios relativamente altos del maíz en algunas de las últimas campañas, pueden haber motivado que muchos productores apliquen mal y en cantidades excesivas el fertilizante nitrogenado, por aquello de “más vale que sobre que no que falte”; lo que ha conducido a una disminución del margen bruto del cultivo y a unas pérdidas de nitratos con efecto contaminante. Los fertilizantes son una herramienta imprescindible para obtener buenas producciones, pero cabe recordar que su uso no razonado afecta directamente a la rentabilidad del cultivo (ya que en muchos casos supone cerca del 30% de los costes de producción) y al mantenimiento del medio ambiente.

Antes de terminar, queremos recordar que ante la gran variabilidad de la respuesta productiva al fertilizante nitrogenado en el maíz, parece oportuno ajustar las dosis para cada parcela y para cada ciclo de cultivo utilizando lo que se denominan herramientas de decisión o de ajuste (Isla y Quílez, 2011), en particular la determinación de la concentración de nitrato en la capa

superficial del suelo (0-30 cm) ya que proporciona una idea estática pero válida del N mineral disponible antes de la siembra.

Previendo las extracciones y asumiendo un buen manejo del riego, el contenido de N al inicio del cultivo puede ayudar a indicar la cantidad adicional de N que es necesario aplicar en la fertilización, aunque no sea posible obtener exactamente la dosis óptima. ■

AGRADECIMIENTOS

Muchos de los resultados presentados en este artículo han sido obtenidos gracias a los proyectos de investigación financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación, proyectos: AGL2001-2214, AGL2005-0820, AGL2009-12897, AGL2012-35122.

BIBLIOGRAFÍA

Betrán, J. 2010. **El abonado de los cereales de primavera: Maíz**. En García-Serrano, P., Delgado, Y., Ruano, S., Lloveras, J. Urbano, P., Pérez, M., Ortiz, J., Rodríguez, B.M^a (Coordinadores). **Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España**. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Biau, A., Santiveri, F., Mijangos, I., Lloveras, J. 2012. **The impact of organic and mineral fertilizers on soil quality parameters and the productivity of irrigated maize crops in semiarid regions**. European Journal of Soil Biology. 53: 56-61.

Boixadera, J., Villar, J.M^a., Lloveras, J., Aran, M., Villar, P., Domingo, F., Bosch, A., Teixidor, N., Serra, J. 2005. **La fertilización del maíz**. Dossier Tècnic No 1. **El cultiu del panís, nous avenços**. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. pp 7-9.

Cela, S., Berenguer, P., Ballesta, A., Santiveri, F., J. Lloveras, J. 2013. **Prediction of relative corn yield with soil-nitrate tests under irrigated Mediterranean conditions**. Agron. J. 105. 1101-1106.

Generalitat de Catalunya. 2009. **Decreto Programa d'actuació en zones vulnerables a la contaminació per nitrats**. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya: DOGC 5457 (3.09.2009).

Isla, R., Quílez, D. 2006. Cultivo de maíz y fertilización nitrogenada. **¿Es posible compatibilizar la rentabilidad y la protección del medio ambiente?**. Surcos de Aragón 100: 26-30.

Isla, R., Quílez, D. 2011. **Fertilización del maíz en riego por aspersión**. II Jornada Técnica "Gestión eficaz del riego por aspersión. Últimos avances técnicos y medioambientales". Monográfico Riegos del Alto Aragón. Junio 2011.

Lloveras, J., Cabases, M^a. A. 2014. **Avaluació dels costos de producció de cultius extensius en secà i regadiu**. Dossier Tècnic 69: 7-18. Abril. Costos en l'agricultura.

Lloveras, J., Cela, S., Berenguer, P., Biau, A., Santiveri, F., Guillén M., Quílez, D., Isla, R. 2012. **Recomendaciones generales para la fertilización del maíz**. Vida Rural 340: 24-30.

MAGRAMA. 2014. **Encuesta sobre superficie y rendimientos de los cultivos**. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

Sisquella, M., Lloveras, J., Alvaro, J., Santiveri, P., Cantero, C. 2004. **Técnicas de cultivo para la producción de maíz, trigo y alfalfa en regadíos del valle del Ebro**. Proyecto TRAMA-LIFE. ISBN: 84-688-7860-X. pp. 105.