

Diversos ensayos confirman que es posible obtener producciones similares disminuyendo la dosis de N

Contaminación por nitratos asociada a la fertilización nitrogenada del maíz

■ Lloveras, J.¹; Cela, S.¹;
Berenguer, P.¹; Santiveri, F.¹; Quilez,
D.²; Yagüe, M. R.²; Isla, R.².

¹ Centro Universidad de Lleida-IRTA. Universidad de Lleida.

² Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Gobierno de Aragón.

El maíz es uno de los cultivos tradicionales de los regadíos del Valle del Ebro (Huesca, Lleida, Zaragoza) donde se vienen cultivando unas 90.000 ha, suponiendo casi un tercio de la superficie cultivada en España. Dependiendo de la zona, año y sistema de riego, las producciones medias de maíz oscilan entre 10 y 16 t/ha de grano seco.

Entre los productores, la idea general en cuanto al abonado del maíz, es que éste es un cultivo que responde bien al nitrógeno y que no hay que ser escasos con este elemento si queremos tener buenas producciones. Sin embargo, si se analizan los costos medios de producción, que pueden variar con los años y con las explotaciones, se puede observar que, sin contar el agua (sin agua no hay maíz en las condiciones del Valle del Ebro), el abonado nitrogenado es uno de los principales costos de producción del maíz, ya que puede suponer casi el 20% de los costes fijos. Además, es también uno de los pocos factores de producción que puede permitir un ahorro de los costes si se aplica de forma más eficiente, ya que la mayor parte de los trabajos y encuestas realizadas apuntan a que, en general, se tiende a sobre-fertilizar el maíz con nitrógeno.

Las cantidades de N aportadas al maíz en el Valle del Ebro, varían en función de si se aplican únicamente abonos minerales o se emplean también abonos orgánicos, teniendo en

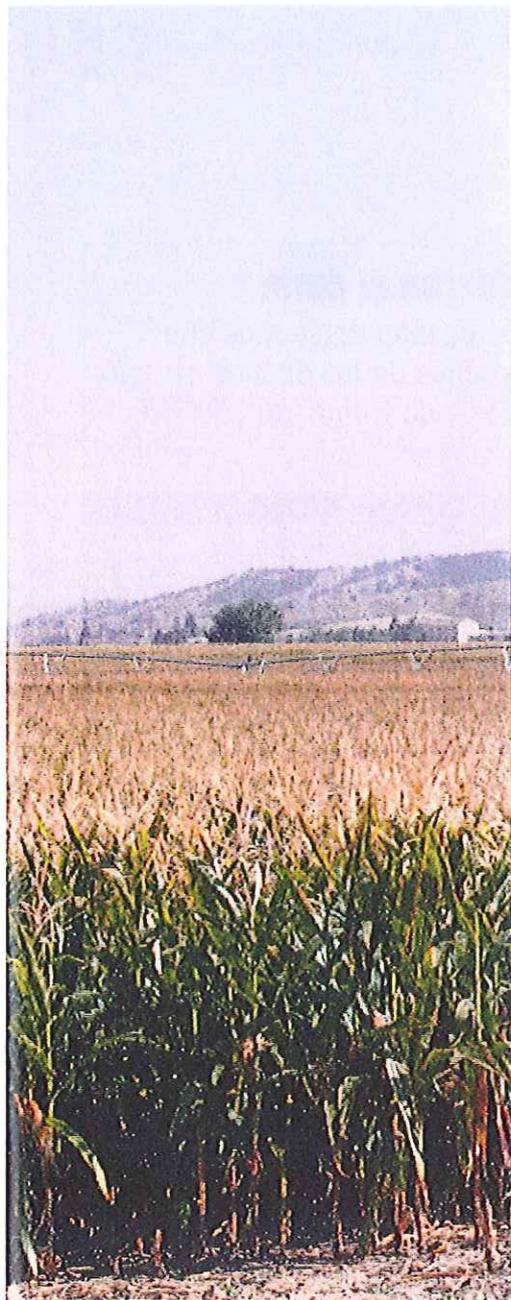
Es habitual que exista un cierto desajuste entre las cantidades de nitrógeno máximas extraídas por el cultivo del maíz y las suministradas en forma de abono. Con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados, se presenta a continuación un resumen de algunos de los resultados obtenidos en varios proyectos de investigación realizados en Cataluña y en Aragón financiados fundamentalmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

cuenta que el Valle del Ebro es una importante área de producción ganadera, con la consiguiente necesidad de deshacerse de las deyecciones originadas.

En el caso de aplicar abonos orgánicos, las encuestas muestran (Sisquella *et al*, 2004), que los agricultores del Valle del Ebro, debido básicamente al desconocimiento de la riqueza en nitrógeno de estos abonos orgáni-

cos (fundamentalmente purines), se fían poco de su utilidad y los complementan habitualmente con abonos minerales. En el trabajo mencionado se indica que el 84% de los agricultores que aplican abonos orgánicos para la fertilización del maíz, aportan más de 400 kg N/ha, mientras que los productores que usan únicamente abonado mineral la mayoría de ellos (55%) aplican entre 275 y 325 kg N/ha y

Hay que considerar la fácil solubilidad del ión nitrato en agua, que en el caso de los regadíos hace que los nitratos puedan lavarse fácilmente y sean arrastrados hacia capas de agua subterráneas o hacia los drenajes tan abundantes en los regadíos del Valle del Ebro durante la estación de riegos



que se justifican poco desde el punto de vista de la rentabilidad económica del cultivo.

Hay que considerar la fácil solubilidad del ión nitrato (NO_3^-) en agua (el nitrato es una de las formas en que las plantas absorben el N), que en el caso de los regadíos, sobre todo con el sistema de riego a manta, y en ciertos suelos con escasa capacidad de retención de agua, hace que los nitratos puedan lavarse fácilmente y sean arrastrados hacia capas de agua subterráneas o hacia los drenajes tan abundantes en los regadíos del Valle del Ebro durante la estación de riegos. Esta pérdida de nitrato por lavado disminuye consecuentemente la eficiencia de los abonos nitrogenados.

Así pues, las aportaciones excesivas de N y la facilidad de movimiento (lavado) del NO_3^- , son en parte el origen de la problemática actual de la contaminación por nitratos de las aguas que causa un perjuicio medioambiental. El impacto mediático y social contra la contaminación de origen agrícola ha obligado a los distintos países de la Unión Europea a declarar algunas zonas agrícolas como zonas vulnerables a la contaminación por nitratos. La protección de las aguas contra la contaminación producida por el nitrato, queda recogida en la Directiva 91/676 aprobada en 1991 por el Con-

sejo de las Comunidades Europeas. Los principales objetivos de esta Directiva son: reducir la contaminación de nitrato de origen agrícola y actuar preventivamente contra nuevas contaminaciones.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados, se presenta a continuación un resumen de algunos de los resultados obtenidos en varios proyectos de investigación realizados en Cataluña y en Aragón, financiados fundamentalmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

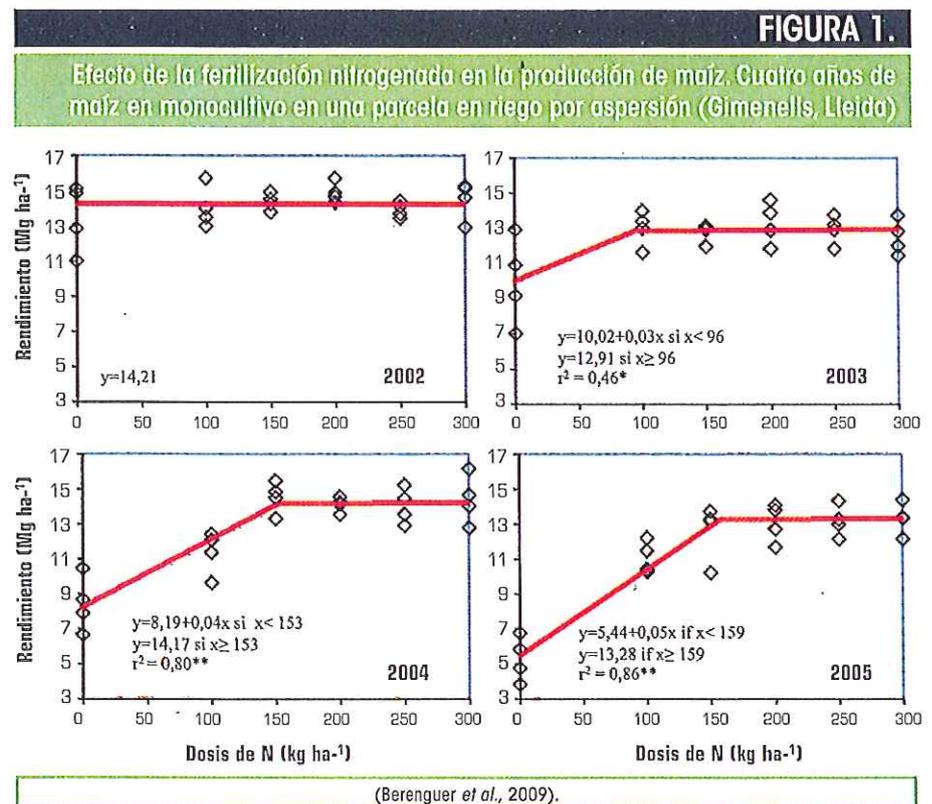
Respuesta del maíz a distintas dosis de nitrógeno

Como puede observarse en la **figura 1**, no siempre las mayores dosis de nitrógeno conducen a las mayores producciones de maíz. En el caso de los ensayos en Lleida, los resultados muestran como las dosis necesarias de N van cambiando según los años, desde 0 kg/ha (2002), pasando por 96 kg/ha (2003) hasta 159 kg/ha (2005), dependiendo del nivel inicial de N del suelo. En muy pocos de los ensayos llevados a cabo en el Valle del Ebro las aportaciones superiores a 200 kg N/ha condujeron a los mayores rendimientos de maíz,

sólo un 40% aplican más de 325 kg N/ha.

Por otro lado se observa que las extracciones habituales (grano + paja) son del orden de los 300-350 kg N/ha, y si se considera que, en muchos casos, se devuelve al suelo la paja después de la cosecha, la cantidad de N realmente extraída por el maíz es de unos 200-250 kg N/ha.

Se observa pues, que de un modo general, hay un cierto desajuste entre las cantidades máximas extraídas por el cultivo y las suministradas en forma de abono, bien sea en forma mineral u orgánica, sin entrar en consideraciones sobre las posibles aportaciones del suelo, agua de riego, cultivos precedentes y nitrógeno residual en el suelo, que se analizarán posteriormente en otros apartados. En conjunto, se observa que se están aportando habitualmente cantidades superiores a las necesidades del cultivo, quizás por tradición y costumbre, pero



aunque pueden necesitarse cantidades superiores, dependiendo del tipo de suelo y del sistema de riego.

El nitrógeno del suelo

El contenido de N en el suelo, es un aspecto muy importante que no suele ser considerado por muchos productores de maíz a la hora de planificar las dosis de fertilizante y que constituye una parte importante de la variabilidad de la respuesta al abono nitrogenado observada en los ensayos. Este N del suelo hay que tenerlo en cuenta al calcular la cantidad total a aplicar con el fertilizante.

Las elevadas cantidades de N inicial fueron la causa de que en el primer año del ensayo de la **figura 1**, no se observara ningún incremento de producción con la aplicación del abonado nitrogenado y de que las curvas de respuesta a las dosis de abonado nitrogenado óptimas fueran cambiando con los años al disminuir los niveles de N mineral en suelo (**figura 1**).

En ensayos realizados durante los años 2001 a 2004 en el CITA (Zaragoza) en los que se aplicaron distintas dosis de N, se puso de manifiesto, al igual que en los ensayos realizados en Lleida (**figura 1**) que la dosis óptima variaba cada año, con lo que la propuesta de una dosis fija óptima no sería la más adecuada para todas las campañas, ni siquiera para un tipo de suelo. De aquí la necesidad de dis-

Muchos agricultores consideran el purín como un residuo del que hay que desprenderse más que como un fertilizante y por ello además de los abonos orgánicos, aplican importantes dosis de N mineral

CUADRO I.

Rendimiento de maíz obtenido para distintas combinaciones de aplicación de purín en fondo y abonado mineral en cobertera.

Tratam.	Fondo Purín (m ³ /ha)	Fondo Purín (kg N/ha)	Cobertera mineral (kg N/ha)	N Total (kg N/ha)	Producción (t/ha)
P30	30	98	195	293	16,2
P60	60	195	91	286	14,3
P90	90	293	91	384	14,0
P120	120	390	0	390	14,9

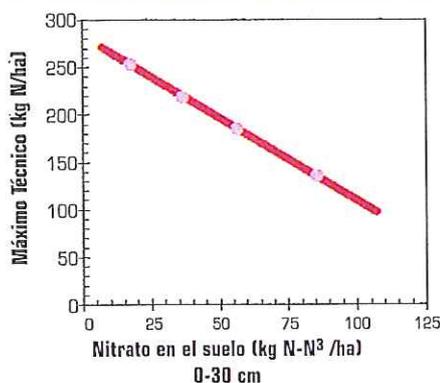
El rendimiento máximo no se obtiene para la mayor dosis de N total sino para la mayor dosis de N en cobertera (Yagüe y Quílez, 2010).

poner de alguna herramienta de decisión que tenga en cuenta tanto el nitrógeno disponible en el suelo como el que potencialmente se mineralizará a lo largo del cultivo. En la **figura 2**, se relaciona el nitrógeno disponible en el suelo en la parte superficial (0-30 cm) en forma de nitrato antes de la siembra del maíz y la dosis de fertilizante nitrogenado que permite obtener el rendimiento máximo. Se observa que cuando el suelo presenta valores más elevados de nitrato antes de la siembra, la dosis necesaria es menor que cuando el suelo es más pobre en nitrato.

A la vista de los resultados presentados en las **figuras 1 y 2** queda patente el interés de conocer mejor la cantidad de nitrógeno disponible en los suelos antes de la siembra del maíz. El análisis de suelos es una práctica bastante habitual para los productores de maíz de Estados Unidos que saben que pueden ahorrar dinero si conocen mejor la riqueza en nutrientes de sus suelos. Resulta sin embargo una práctica poco utilizada por los productores de maíz en los regadíos españoles, que puede ayudar a optimizar el uso del fertilizante nitrogenado, mejorando la competitividad de la ex-

FIGURA 2.

Relación entre la cantidad de nitrato disponible en el suelo (0-30 cm) antes de la siembra y la cantidad de fertilizante nitrogenado que maximiza el rendimiento de grano



(Isla y Quílez, 2006).



Síntomas en hoja de la carencia de nitrógeno.

plotación y disminuyendo el impacto ambiental de la actividad agraria sobre el medio ambiente.

Momento de las aportaciones

Un aspecto a tener siempre presente para disminuir las pérdidas de N por lavado es ajustar lo mejor posible las aplicaciones de N a las necesidades del cultivo. Por ello se recomienda reducir el N aportado en fondo y fraccionarlo en una o más coberteras, cuando el maíz tiene ya un cierto grado de desarrollo (a partir de 40 cm de altura aproximadamente) y un volumen de raíces importante, lo que le permite aprovechar mejor el N aplicado y disminuir el riesgo de lavado de nitratos.

En ensayos realizados con purín de porcino en el CITA de Zaragoza se registró el efecto del momento de aplicación del N (Yagüe y Quílez, 2010). Así en el **cuadro I** puede observarse

Abonado en cobertera con nitrógeno líquido.



cómo el rendimiento de maíz en los tratamientos P60, P90 y P120 de purín no fue tan elevado como el tratamiento P30 (al menos 1,3 t/ha superior), a pesar de que la cantidad total de N aplicada en P90 y P120 es unos 100 kg N/ha superior a la aplicada en P30 de fondo más el N aplicado en cobertera. El menor ren-

dimiento está asociado a un lavado del N aplicado en fondo (y no utilizado en ese momento por el cultivo) por las lluvias de abril y mayo. En el tratamiento P30 hay una aplicación más alta de N en cobertera, y este N aplicado en cobertera es utilizado de forma más eficiente por el cultivo.

Aportaciones por los abonos orgánicos

Las aplicaciones de fertilizantes orgánicos como el purín de porcino al maíz son bastante frecuentes en el Valle del Ebro y pueden ser muy beneficiosas por el aporte de nitrógeno, fósforo y algunos microelementos. Sin embargo, aplicaciones excesivas sin una disminución de las dosis de fertilizante mineral, pueden conducir a que una parte importante del nitrógeno se pierda por lavado en forma de nitrato. Parte del problema radica en que muchos agricultores consideran el purín como un



Toma de muestras de suelo en primavera (en la foto izquierda) y en cosecha (a la derecha).

residuo del que hay que desprenderse más que como un fertilizante y por ello además de los abonos orgánicos, aplican importantes dosis de N mineral. Esta práctica errónea es, posiblemente, una de las causas de los elevados niveles de nitratos en algunas las zonas vulnerables. Los resultados presentados en el **cuadro II** muestran cómo las dosis de fertilizante mineral óptima disminuyen al aumentar la cantidad de purín aplicado.

Efecto de la alfalfa como cultivo precedente

La rotación alfalfa-maíz es clásica en los regadíos del Valle del Ebro. Los productores de maíz saben bien que "después de alfalfa, el maíz va muy bien"; ya desde el tiempo de los romanos

(Columela, 70) se conoce que las leguminosas dejan una cantidad importante de N en el suelo para el cultivo siguiente. Sin embargo, las encuestas llevadas a cabo en el Valle del Ebro, muestran que los productores siguen aplicando las mismas dosis de N al maíz detrás de la alfalfa, como si la alfalfa no hubiera aportado nitrógeno al suelo (Sisquella *et al.* 2004).

Resultados obtenidos en ensayos llevados a cabo en Huesca y Lleida muestran lo que todo el mundo intuye pero que pocos practican, es decir, que después de la alfalfa las cantidades de N a aportar al maíz, pueden reducirse mucho y en algunos casos, incluso, no hace falta aplicar N (**cuadro III**).

Efecto combinado de la dosis de riego y del fertilizante nitrogenado

Como se ha venido comentando en apartados anteriores, el tipo de riego y la cantidad de agua aplicada influyen mucho en el lavado del nitrato y consecuentemente en la contaminación.

La **figura 3** presenta los resultados de un ensayo de maíz en lisímetros (CITA, Zaragoza), en condiciones de cultivo típicas de Aragón. En dicho ensayo se estudió de forma conjunta el efecto combinado de la dosis de fertilizante (dosis media de 275 kg N/ha frente a una dosis elevada de 400 kg N/ha) y de la eficiencia en el sistema de riego (sistema eficiente frente a sistema ineficiente) sobre la masa de nitrato lavada en un cultivo de maíz.

La dosis de N más elevada puede consi-

derarse como representativa de la empleada por muchos agricultores de los regadíos aragoneses, especialmente en sistemas de riego por superficie, mientras que la más baja representaría la dosis recomendada para riego por superficie con un rendimiento esperado de unas 10-12 t/ha. Las dos eficiencias de riego comparadas pueden considerarse representativas de las de un riego por inundación (eficiencia del 60%) y de un riego por aspersión bien manejado (eficiencia del 90%). En la figura se observa que los rendimientos fueron muy similares en todos los tratamientos, mientras que se observan diferencias muy importantes en las pérdidas por lavado de N. Los resultados muestran que, independientemente de la eficiencia del riego, el tratamiento con reducción de abonado nitrogenado reduce un 36% el lavado de nitratos respecto a la dosis más alta. De la misma manera, independientemente de la dosis de abonado, el aumento de la eficiencia de riego reduce un 33% el lavado de nitrato.

Al combinar menores dosis de fertilizante con alta eficiencia de riego se puede conseguir reducir las pérdidas por lavado de nitrato un 60% respecto al manejo en el que se aplican elevadas dosis de fertilizante y riego, obteniendo unas producciones similares.

Consideraciones finales

Los precios relativamente bajos del nitrógeno, hasta hace un par de años, han ocasionado frecuentemente un uso excesivo de los abonos nitrogenados, por aquello de "más vale que so-

CUADRO II.

Efecto de la aplicación combinada de purín de porcino y fertilizante mineral en cobertera sobre la producción de maíz. (Gimenells, Lleida).

Purín (m ³ /ha)	N mineral (kg/ha)	Producción (t/ha)
0	0	8,5
	100	12,4
	200	13,8
30	0	13,2
	100	14,1
	200	14,0
50	0	14,1
	100	14,1
	200	14,4

Media 2002-2007. (Berenguer *et al.*, 2008).

CUADRO III.

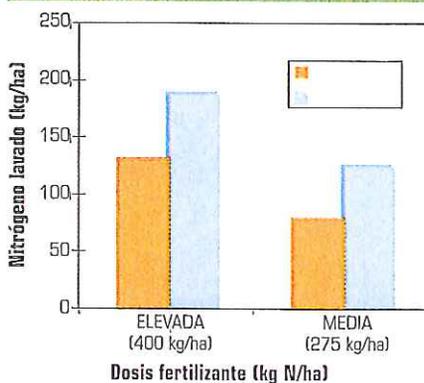
Contenido de N en el suelo en una parcela de maíz sembrada después de alfalfa y rendimiento de grano (14% de humedad) en tres localidades.

Localidad	Nitrato en el suelo (0-90 cm)			
	Dosis de abonado N (kg N/ha)	Antes de sembrar (kg N/ha)	Después de cosechar (kg N/ha)	Rendimiento (t/ha)
Almacelles (Aspersión)	0	202	134 b	16,7
	100	202	184 ab	16,3
	300	202	294 a	16,8
	Significación	-	0,01	ns
Binéfar (Aspersión)	0	148	105 c	13,8
	100	148	261 b	14,7
	300	148	449 a	14,9
	Significación	-	0,01	ns
El Terròs (Inundación)	0	121	58 b	11,8 b
	100	121	65 b	13,1 ab
	300	121	156 a	14,5 a
	Significación	-	0,05	0,05

Entre paréntesis, se indica el sistema de riego utilizado (Cela et al., 2009).

FIGURA 3.

Efecto de la dosis de fertilizante nitrogenado (dosis media frente a dosis alta) y de la eficiencia del sistema de riego (Eficiente: aspersión; Ineficiente: inundación) sobre las pérdidas de nitrógeno por lavado.



Sobre las barras se indica la producción de grano obtenida. (Quílez et al., 2006).

bre que no que falte", que han conducido al aumento de la concentración de nitrato en las aguas superficiales y subterráneas. La creciente exigencia de unos sistemas de producción más respetuosos con los recursos naturales ha llevado a la declaración de las denominadas zonas vulnerables y a reglamentos que limitan el uso del N, no porque éste no sea un elemento esencial de la producción agraria del que no se puede prescindir, sino porque es necesario una mejora en su utilización que redunde además positivamente en los rendimientos de las explotaciones.

Frecuentemente, se ha hecho más caso al color del cultivo y la necesidad de vender, que a los análisis de suelo y a los consejos técnicos basados en la investigación.

En resumen, para reducir la contaminación difusa por nitratos asociada al regadío es necesario mejorar por un lado el manejo del fertilizante nitrogenado y por el otro aumentar, siempre que sea posible, la eficiencia del riego

para reducir al máximo la percolación. Estudios en el Valle del Ebro han puesto de manifiesto que las mayores pérdidas de nitratos se producen en sistemas de riego por inundación frente a los sistemas de aspersión, de creciente implantación en los regadíos modernos.

En los próximos años solamente los productores de maíz que sean capaces de obtener elevadas producciones, disminuyendo sus costes de producción, y entre ellos el del fertilizante nitrogenado, y de manejar bien el agua podrán obtener rentabilidades aceptables con dicho cultivo. ●

Agradecimientos

Muchos de los resultados presentados en este artículo han sido obtenidas gracias a los proyectos de investigación financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación, proyectos AGL-2001-2214 y AGL2005-0820 y el INIA, proyecto SC-00-061.

Bibliografía ▼

- BERENGUER, P., SANTIVERI, F., BOIXADERA, J., LLOVERAS, J. 2008. Fertilisation of Irrigated Maize with Pig Slurry combined with Mineral Nitrogen. *European Journal of Agronomy* 28: 635-645.
- BERENGUER, P., S., SANTIVERI, F., BOIXADERA, J., LLOVERAS, J. 2009. Nitrogen Fertilisation of Irrigated Maize under Mediterranean Conditions. *European Journal of Agronomy* 30: 163-171.
- CÉLA, S., SANTIVERI, F., BALLESTA, A., LLOVERAS, J. 2009. La fertilización nitrogenada del maíz sembrado después de alfalfa. *Tierras de Castilla y León* 157: 58-61.
- COLUMELA, L. 70. Los doce libros de la agricultura. Traducción de C. J. Castro, 1959. Obras Maestras. Ed. Iberia. Barcelona.
- ISLA R., Y QUÍLEZ D. 2006. Cultivo de maíz y fertilización nitrogenada. ¿Es posible compatibilizar la rentabilidad y la protección del medio ambiente?. pag. 26-30. *Surcos de Aragón* N° 100.
- QUÍLEZ D., YAGÜE M.R., ISLA R. 2006. Lavado de nitrato y riego, Capítulo 3. En "Fertilización nitrogenada. Guía de actualización". Número extraordinario. Informaciones Técnicas, Centro de Transferencia Agroalimentaria, Departamento de Agricultura, Gobierno de Aragón.
- 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.
- YAGÜE, M.R., D. QUÍLEZ. 2010. Response of maize yield, nitrate leaching, and soil nitrogen to pig slurry combined with mineral nitrogen. *Journal of Environmental Quality* 39 (2)