

# Uso de cultivos cubierta en maíz para mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno

## Evaluación de su efecto sobre el lavado del N y el rendimiento del maíz

Montse Salmerón<sup>1</sup>, Ramón Isla<sup>2</sup>, José Cavero<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Universidad de Arkansas, Estados Unidos.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza.

<sup>3</sup> Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), Zaragoza.

**El uso de cultivos cubierta para reducir el lavado de nitrógeno es una estrategia común en zonas agrícolas de alta precipitación durante el invierno, donde los cultivos cubierta son sembrados tras la cosecha del cultivo principal de verano para recuperar el nitrógeno residual que queda en el suelo, incorporar este N en la biomasa del cultivo cubierta, y reducir de este modo el lavado de nitrógeno durante los periodos de alta precipitación en invierno. En este estudio, se compara la siembra directa de un cultivo cubierta con la convencional y se evalúa el efecto de los cultivos cubierta en la reducción del lavado de N y en el rendimiento del maíz posterior.**

**E**l maíz requiere altas dosis de fertilización nitrogenada y de agua de riego para su cultivo en las condiciones semiáridas del Valle del Ebro y en otras zonas agrícolas de España. Cuando el manejo de los fertilizantes nitrogenados y del agua de riego no son adecuados, se puede producir la contaminación por nitratos de las aguas superficiales y subterráneas.

La transformación a sistemas de riego más eficientes como el riego por aspersión, junto a un cálculo ajustado de las necesidades de nitrógeno y su aplicación fraccionada durante el periodo de cultivo, son estrategias clave para reducir la contaminación por nitratos en el agua de drenaje. Una mayor eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno también tiene repercusiones positivas para los productores: mayores rendimientos debido a una disponibilidad más uniforme de agua y nitrógeno durante el cultivo, así como la reducción de los costes asociados al agua de riego y a la fertilización nitrogenada.

Estudios desarrollados en cuencas del Valle del Ebro dotadas con sistemas de riego por aspersión, que permiten un manejo óptimo del riego y de la fertilización nitrogenada, han encontrado que las pérdidas anuales de N pueden llegar a valores de entre 12 y 64 kg N ha<sup>-1</sup>. Estos datos sugieren que son necesarias otras estrategias para reducir el lavado de N y que permitan mantener altas productividades en maíz.

El uso de cultivos cubierta para reducir el lavado de nitrato es una estrategia común en zonas agrícolas de alta precipitación durante el invierno, donde cultivos cubierta son sembrados tras la cosecha del cultivo principal de verano para recuperar el nitrógeno residual que queda en el suelo, incor-





Cebada sembrada con siembra directa tras maíz.

porar este N en la biomasa del cultivo cubierta, y reducir de este modo el lavado de nitrógeno durante los periodos de alta precipitación en invierno. Tras la incorporación del cultivo cubierta al suelo en primavera mediante laboreo, parte del nitrógeno presente en forma orgánica en el mismo se mineraliza a forma inorgánica y está disponible para los siguientes cultivos. Los cultivos cubierta pueden además aportar otros

beneficios propios del uso de rotaciones y de abono en verde: mejora del nivel de materia orgánica y de la estructura del suelo y ayuda en el control de malas hierbas, plagas y enfermedades del suelo.

En el clima mediterráneo, con condiciones semiáridas de baja precipitación y altas necesidades de riego durante el verano, el uso de cultivos cubierta durante el invierno es una práctica que ha sido poco estudia-

da. Sin embargo, las condiciones adecuadas de humedad durante el invierno pueden permitir el crecimiento de cultivos cubierta sin necesidad de riego y aprovechar el N residual tras la cosecha de maíz.

El buen establecimiento de un cultivo cubierta puede ser crítico tras la cosecha de maíz, debido al corto espacio de tiempo para su siembra antes de la llegada de heladas, o a periodos de lluvia que pueden dificultar los trabajos de laboreo y de siembra. La siembra directa de cultivos cubierta tras la cosecha de maíz puede ser una alternativa ventajosa frente a la siembra convencional con laboreo para incorporar el residuo de maíz. Una ventaja añadida a dicho sistema convencional es la de reducir los costes asociados al laboreo de preparación del suelo para dicha siembra.

Los objetivos de este estudio fueron:

- Comparar un sistema de siembra directa de los cultivos cubierta con un sistema convencional con laboreo.
- Evaluar el efecto de los cultivos cubierta en cuanto a su capacidad de evitar las pérdidas de N por lavado y en cuanto a su efecto sobre el rendimiento del maíz sembrado posteriormente.



Cultivos cubierta en invierno: veza (izda), cebada (centro), colza (drcha).



Estado de la colza en el momento de su incorporación al suelo.

## CUADRO I

FECHAS DE SIEMBRA E INCORPORACIÓN DE LOS CULTIVOS CUBIERTA, Y DE SIEMBRA Y COSECHA DEL MAÍZ PARA CADA AÑO DE ENSAYO.

Tipo de siembra del cultivo cubierta	Cultivo cubierta		Maíz	
	Siembra	Incorporación	Siembra	Cosecha
<b>2006</b>				
Siembra directa	3 noviembre 2006	12 abril 2006	3 mayo 2007	23 octubre 2007
Siembra tras laboreo	15 noviembre 2006	12 abril 2006		
<b>2007</b>				
Siembra directa	30 octubre 2007	7 abril 2007	25 abril 2008	24 octubre 2008
Siembra tras laboreo	7 noviembre 2007	7 abril 2007		

El uso de cultivos cubierta durante el invierno y la reducción de la fertilización nitrogenada aplicada al maíz en 50 kg N/ha no afectaron al rendimiento del maíz en el caso de la nabina y la veza y redujeron ligeramente (-7%) el rendimiento del maíz en uno de los años en el caso de la colza

### Descripción de los ensayos

Los ensayos se realizaron en la estación experimental de Aula Dei (EEAD) localizada en Zaragoza. El ensayo comenzó en otoño del 2006 tras la cosecha de un cultivo de maíz. El suelo de la parcela experimental es profundo (>1,2 m) y con una capacidad máxima de retención de agua disponible para el cultivo de alrededor de 150 mm. La parcela dispone de un sistema de riego por aspersión con cobertura enterrada fija cuadrada (18 x 18 m), con aspersores de doble boquilla (4,4 mm + 2,4 mm) situados a 2,5 m sobre el suelo.

El experimento consistió en una rotación de cultivos cubierta de invierno con maíz durante dos años consecutivos y en la misma parcela, finalizando el ensayo tras la cosecha de maíz en 2008. El diseño experimental fue en bloques divididos con dos factores y tres repeticiones. El factor principal fue el sistema de siembra de los cultivos cubierta tras la cosecha del maíz: siembra convencional (SC) tras la incorporación del residuo de maíz y laboreo del suelo, y siembra directa (SD) sin incorporación del residuo del maíz. El factor secundario fue el tipo de cultivo cubierta: cebada (cv. Hispanic), colza (cv. Madrigal), nabina (cv. Perko), veza (cv. Armantes) y un tratamiento control sin cultivo cubierta durante el invierno. Los cultivos cubierta se sembraron con una sembradora comercial (Sola SD-1203) a dosis de siembra de 180, 7, 12 y 110 kg ha<sup>-1</sup> para la cebada, colza, nabina y veza, respectivamente. Durante la primavera siguiente los cultivos cubierta se incorporaron al suelo mecánicamente mediante un pase de grada de discos antes de la siembra de maíz.

El híbrido de maíz cv. Pioneer PR34N43 fue sembrado a una densidad de 87.000 plantas ha<sup>-1</sup> y con una separación entre líneas de 0,75 m. El maíz en el tratamiento sin cultivo cubierta se fertilizó con 300 kg N/ha (100 kg/ha en fondo y el resto en dos coberteras con el agua de riego). En el caso del maíz tras los cultivos cubierta se aplicaron 250 kg N/ha (50 kg/ha en fondo y el resto en

dos coberteras), considerando que el cultivo cubierta una vez incorporado puede aportar N mineralizado al cultivo de maíz siguiente. Las aplicaciones de N en cobertera se realizaron en los estadios de maíz V6 y V12 (6 y 12 hojas desarrolladas). Además, se aplicaron 100 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 150 kg/ha de K<sub>2</sub>O antes de la siembra de maíz.

El riego del maíz se realizó de acuerdo a las necesidades hídricas netas calculadas a partir de la evapotranspiración de referencia determinada con el método de FAO Penman-Monteith y de coeficientes de cultivo. El total de agua recibida por el cultivo de maíz (riego + precipitación) fue de 890 y de 750 mm durante 2007 y 2008, respectivamente.

La biomasa producida por los distintos cultivos cubierta y su concentración en N orgánico se determinaron mediante muestreo en primavera antes de incorporar los cultivos cubierta. Asimismo, se determinó el rendimiento de maíz. Se realizaron muestreos de suelo cada año antes de la incorporación de los cultivos cubierta para la determinación de N inorgánico en forma nítrica y amoniacal. También se hicieron medidas con SPAD sobre las hojas del maíz durante la fase vegetativa y reproductiva para evaluar el estado nutricional del maíz.

### Resultados y discusión

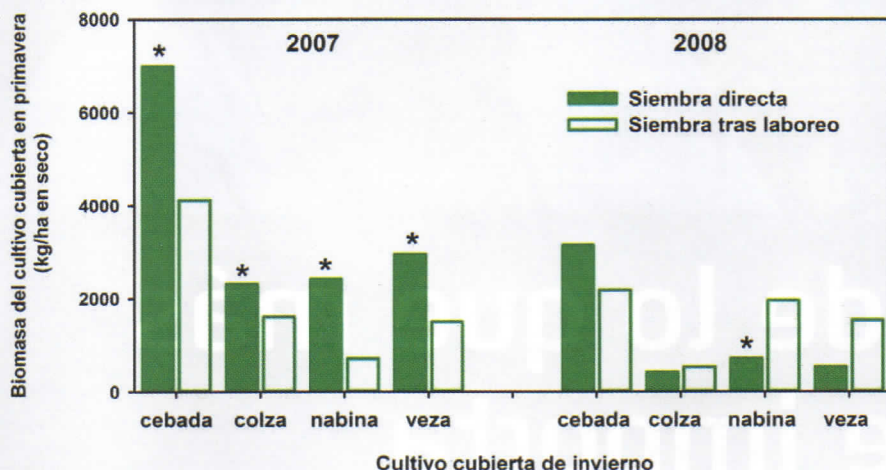
#### Desarrollo de los cultivos cubierta

La siembra directa de los cultivos cubierta permitió adelantar la fecha de siembra de 8 a 12 días en comparación con un sistema de siembra convencional tras la incorporación del residuo de maíz y preparación del suelo (**cuadro I**). En 2007 la fecha de siembra más temprana de los cultivos cubierta con siembra directa produjo en promedio 1,7 t/ha más de biomasa que la siembra convencional más tardía (**figura 1**). Sin embargo, durante 2008 el tipo de siembra tuvo un efecto distinto dependiendo del cultivo cubierta. En el caso de la cebada, la biomasa producida fue mayor con siembra directa aunque no de forma significativa. En el caso de la veza, colza y nabina, la biomasa produ-

(Continúa en pág. 44)

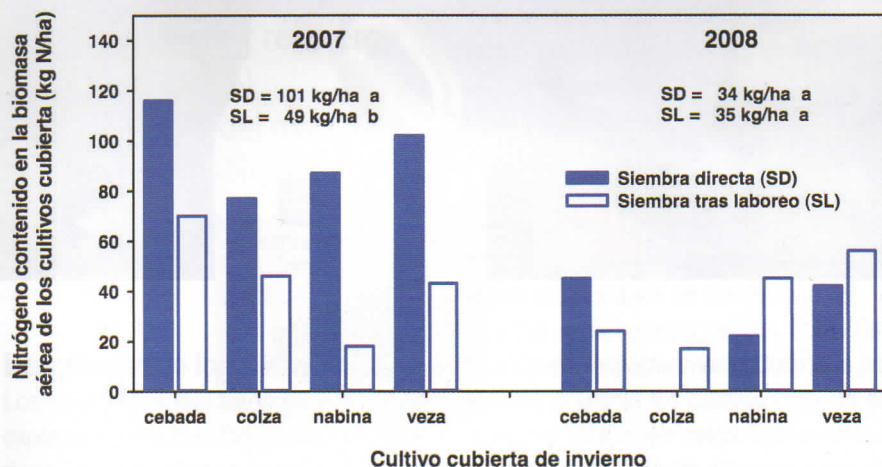


**FIG 1.** Biomasa producida por los cultivos cubierta antes de la incorporación en el suelo en primavera de 2007 y 2008 para cada sistema de siembra (directa o convencional tras laboreo).



Los asteriscos indican diferencias significativas entre sistemas de siembra dentro de una misma especie de cultivo cubierta.

**FIG 2.** Nitrógeno orgánico en la biomasa aérea de los cultivos cubierta antes de su incorporación en el suelo en primavera de 2007 y 2008 y para cada sistema de siembra.



Distintas letras tras los valores medios por sistema de siembra del cultivo cubierta (SD: siembra directa; LC: laboreo convencional) indican diferencias significativas.

cida fue mayor con siembra convencional, pero solo en el caso de la nabina las diferencias fueron significativas. La menor producción de biomasa de estos cultivos cubierta bajo siembra directa durante 2008 fue debida a las dificultades de emergencia. La siembra

directa tras un rastreo de maíz puede dificultar la emergencia de algunos cultivos y es un factor a considerar al escoger la especie de cultivo cubierta. En nuestro ensayo la cebada mostró mayor adaptabilidad a la siembra directa que el resto de cultivos cu-

bierta. Otro motivo para la menor producción de biomasa en siembra directa durante 2008 fue la fecha de siembra utilizada, un mes más tarde que la fecha óptima de siembra para algunos de estos cultivos (veza, colza y nabina).

La cantidad de N contenida en la biomasa aérea de los cultivos cubierta antes de su incorporación al suelo se muestra en la figura 2. En 2007 la siembra directa permitió doblar la cantidad de N en la biomasa aérea del cultivo cubierta en comparación con el sistema de siembra convencional (101 kg N/ha en siembra directa, 49 kg N/ha en siembra convencional). En 2008 el N extraído por los cultivos cubierta fue menor que en 2007 y fue similar en los dos sistemas de siembra (35 kg N/ha).

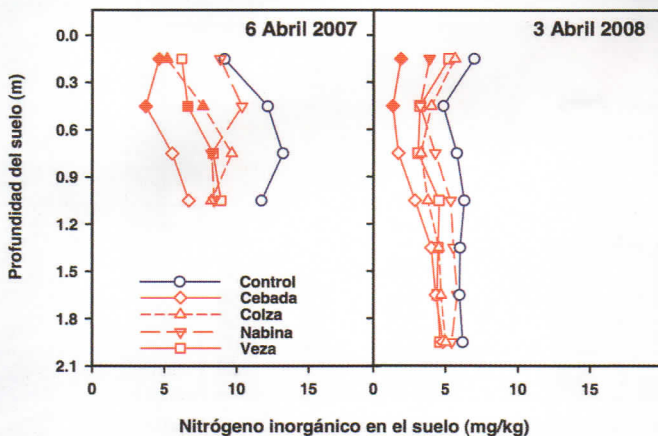
En ninguno de los años se observó un efecto significativo del tipo de cultivo cubierta en la cantidad de N en la biomasa aérea. Entre los distintos cultivos cubierta utilizados, la cebada fue el que produjo mayor cantidad de biomasa durante los dos años de ensayo, sin embargo la cantidad total de N en la misma no fue significativamente distinta a la de los otros cultivos cubierta. Cuando el nitrógeno en forma orgánica de los cultivos cubierta es incorporado al suelo parte del mismo puede ser mineralizado por los microorganismos del suelo pudiendo ser utilizado por el siguiente cultivo de maíz. La fracción de nitrógeno que puede ser mineralizada está relacionada con la concentración de N orgánico y la relación C/N en estos restos vegetales. Residuos con una concentración de N relativamente baja (1,3-1,7% N) y relación C/N alta (27-36), como la cebada, pueden tener el riesgo de ofrecer una mineralización lenta en comparación con otros residuos como los de colza (3-3,1% N; C/N=13-14), nabina (2,5-3,4% N; C/N=13-18) y veza (3,1-3,4% N; C/N=13).

**Cantidad de N inorgánico en el suelo**

En la figura 3 se muestra la concentración de nitrógeno inorgánico (disponible para el cultivo) en el suelo en primavera antes de la

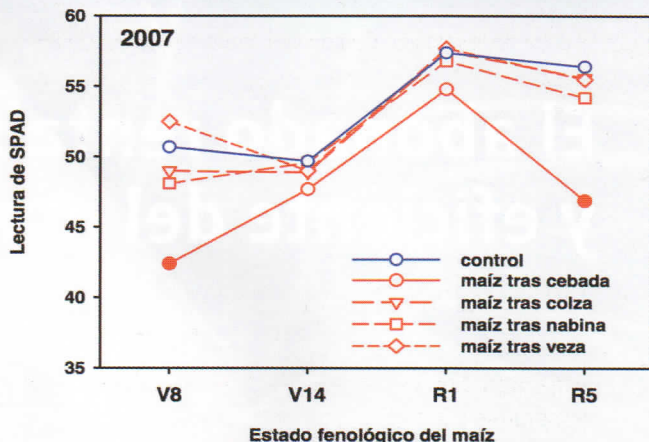
(Continúa en pág. 44)

**FIG 3.** Concentración de nitrógeno inorgánico en el suelo en primavera de 2007 y 2008 antes de la incorporación de los cultivos cubierta.



Para cada profundidad de suelo y año, los símbolos rellenos indican diferencias significativas entre el tratamiento control y los tratamientos con cultivo cubierta.

**FIG 4.** Evolución de los valores de SPAD en las hojas de maíz para los distintos tratamientos de cultivo cubierta evaluados durante 2007.



V8: maíz con 8 hojas, V14: maíz con 14 hojas, R1: aparición de las sedas de la mazorca, R5: grano dentado. Los símbolos rellenos indican lecturas de SPAD significativamente inferiores al tratamiento control.

incorporación de los cultivos cubierta en el suelo. Los cultivos cubierta redujeron la concentración de N inorgánico en varias profundidades de suelo en comparación con el tratamiento control sin cultivo cubierta. La cantidad total de N inorgánico contenida en 0 a 1,2 m de profundidad de suelo en el tratamiento control fue de 202 (2007) y 105 (2008) kg/ha. Los cultivos cubierta redujeron esta cantidad en un 36 y 40% en 2007 y 2008, respectivamente. La reducción del contenido en N inorgánico del suelo debido a la absorción del mismo por los cultivos cubierta disminuye el riesgo de que se pier-

da por lavado tanto durante el invierno como durante los primeros riegos dados al maíz, cuando la absorción del cultivo es escasa.

**Efecto sobre el rendimiento de maíz**

El maíz se sembró tras la incorporación mecánica de los cultivos cubierta y previa preparación del suelo. Las condiciones de cultivo de maíz fueron las mismas para todos los tratamientos, exceptuando una reducción en el aporte de N fertilizante en abonado de fondo de 50 kg N/ha en los tratamientos tras cultivo cubierta.

Los rendimientos de maíz obtenidos se muestran en el **cuadro II** promediados por tipo de tratamiento de cultivo cubierta, ya que no hubo un efecto significativo del tipo de siembra de los cultivos cubierta en el rendimiento del maíz. En 2007 los rendimientos de maíz tras colza, nabina y veza oscilaron entre 14,1 a 15,7 t/ha, similares al rendimiento del maíz en el tratamiento control (sin cultivo cubierta y con un aporte mayor de nitrógeno). En el caso de maíz tras cebada el rendimiento fue significativamente menor (11,7 t/ha) comparado con el control. Los rendimientos de maíz durante el segundo año de rotación fueron de nuevo similares al control en maíz tras nabina y veza (14-14,4 t/ha) Sin embargo, se produjo un menor rendimiento del maíz tras los cultivos cubierta de colza y cebada (13,6-13,7 t/ha), aunque en este año la diferencia con el control fue menor.

En la **figura 4** puede observarse como en el año 2007 el tratamiento con cultivo cubierta de cebada produjo menores valores de SPAD en las hojas de maíz (menor verdor y contenido de nitrógeno total) que el tratamiento control en los estadios de V8, R1

**CUADRO II**

RENDIMIENTO DE MAÍZ PARA CADA TRATAMIENTO DE CULTIVO CUBIERTA EN LOS DOS AÑOS DE ENSAYO.

Cultivo cubierta previo al maíz	Rendimiento de maíz (t/ha)	
	2007	2008
Sin cultivo cubierta (control)	15,6	14,6
Cebada	11,7*	13,7*
Colza	15,1	13,6*
Nabina	14,6	14,0
Veza	15,7	14,4

Dentro de un mismo año, el asterisco indica un rendimiento significativamente inferior al del tratamiento control sin cultivo cubierta.

y R5, lo que indica que el maíz sufrió una deficiencia de N cuando se cultivó tras cebada. Esta deficiencia pudo ser debida a una menor mineralización del N orgánico contenido en la cebada y/o una falta de sincronización con la absorción de N por el maíz. El valor de la relación C/N de la cebada fue mayor de 25, que se ha indicado como umbral para que en lugar de mineralización de N exista inmovilización de N. ■

## Conclusiones

La siembra directa permitió sembrar en fechas más tempranas los cultivos cubierta tras la cosecha del maíz, lo que produjo mayor biomasa y absorción de N por los cultivos cubierta en el primer año, pero no en el segundo año debido a una peor implantación de algunos de ellos (colza, nabina, veza). La siembra directa es recomendable para la cebada pero debe optimizarse para las otras especies.

La cebada fue el cultivo cubierta que produjo más biomasa, si bien su contenido total en N fue similar al resto de cultivos cubierta. Además, la relación C/N de la cebada fue mayor que la de los otros cultivos cubierta evaluados.

Los cultivos cubierta redujeron el contenido en N inorgánico de suelo en primavera, reduciendo el riesgo de su pérdida por lavado.

El uso de cultivos cubierta durante el invierno y la reducción de la fertilización nitrogenada aplicada al maíz en 50 kg N/ha no afectaron al rendimiento del maíz en el caso de la nabina y la veza y redujeron ligeramente (-7%) el rendimiento del maíz en uno de los años en el caso de la colza. Sin embargo, el uso de la cebada como cultivo cubierta redujo el rendimiento del maíz entre 1 y 4 t/ha debido a una insuficiente mineralización del N orgánico contenido en la cebada, que produjo una deficiencia de N en el maíz.

Los rendimientos de maíz obtenidos en este ensayo bajo condiciones de manejo típicas del cultivo de maíz en la zona son prometedores para la utilización de cultivos cubierta en rotación con maíz. Sin embargo, la reducción del rendimiento del maíz tras la cebada sugiere que se precisan más estudios para optimizar la fecha de incorporación del cultivo cubierta y la dosis de N fertilizante para el siguiente cultivo de maíz.

# Aportando Soluciones en Gran Cultivo



Maíz



Girasol



Forrajeras



fito