

Optimización de la fertilización nitrogenada en sistemas de doble cultivo maíz-cebada

Una alternativa ambiciosa que puede ayudar a rentabilizar los regadíos del Valle del Ebro

Á. Maresma, F. Santiveri, A. Michelena, y J. Lloveras.

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de Lleida. Universidad de Lleida.

Los sistemas de doble cultivo en los regadíos del valle del Ebro son cada vez más frecuentes. Una parte de la superficie destinada a la producción de grano de maíz en monocultivo está cambiando hacia sistemas que introducen dos cultivos en un año, siendo la combinación de cebada-maíz la más frecuente.

Tradicionalmente, el maíz ha sido el cultivo por excelencia en los regadíos porque probablemente es el cultivo extensivo que permite obtener un mayor beneficio económico por unidad de superficie, aunque requiera de una mayor inversión inicial (Lloveras y Cabases, 2015). En España se siembran unas 450.000 hectáreas de maíz, de las cuales, 140.000 ha se encuentran en el Valle del Ebro (Magrama, 2015).

La práctica del doble cultivo no es nueva, ni en España, ni en la zona del estudio. De hecho, ha estado presente desde hace muchos años pero con objetivos finales distintos a los que se les están dando hoy en día. Lo habitual era encontrar sistemas de doble cultivo donde el aprovechamiento final de uno o de los dos cultivos era forraje (Lloveras, 1987). Con el aprovechamiento forrajero de uno o de los dos cultivos se pueden adelantar las cosechas varias semanas o meses, lo que permite introducir más fácilmente dos cultivos en un año y lo que supone habitualmente un aumento de la productividad de las parcelas (Pujol, 1984). Estas zonas solían tener una conexión con la ganadería, que era donde se daba el aprovechamiento al forraje.





Izquierda. Aplicación del abonado nitrogenado en el maíz. Derecha: Cosecha de la cebada en las parcelas experimentales.

Actualmente, con la modernización de regadíos, la profesionalización del sector agrícola, la mejora de la maquinaria, la introducción de variedades de maíz de ciclos más cortos, etc., surge la oportunidad de realizar dos cosechas de grano en el mismo año y aparecen explotaciones exclusivamente agrícolas que ven en el doble cultivo una oportunidad de intensificar la producción de sus parcelas. Según algunos autores, los márgenes brutos del doble cultivo de cebada-maíz respecto al monocultivo de maíz son de entre un 13% y un 22% mayores (Gil, 2013).

En los sistemas de doble cultivo, los tiempos de preparación y actuación en ca-

da uno de los cultivos son más cortos y por tanto, el manejo del campo es más complejo. La gestión de los residuos de cada cosecha, la preparación del terreno para la siembras, los tratamientos fitosanitarios pertinentes y la fertilización, entre otros, deben ser más precisos que en sistemas de monocultivo.

La presente investigación tiene el objetivo de determinar la dosis de nitrógeno óptima y cómo ésta debe distribuirse temporalmente entre los dos cultivos del sistema de doble cosecha (cebada-maíz).

Metodología

Los ensayos para estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada en la doble cosecha de cebada-maíz se han llevado a cabo en dos localidades de la provincia de Lleida, comenzando en 2012 y concluyendo en este año, 2016. En este artículo se presenta un resumen de los resultados de una de las localidades (Algerri) en las campañas 2013-2014 y 2014-2015, que son indicativos de los resultados obtenidos hasta el presente.

El suelo del estudio es profundo (> 1 m), textura franca, contenido en materia orgánica del 1,9%, moderadamente básico (pH = 8,2), con niveles altos de fósforo (34 ppm) y normales de potasio (180 ppm).

En los experimentos de fertilización nitrogenada de doble cosecha cebada-maíz, se combinan dos dosis de nitrógeno mineral en cebada (0 y 100 kg N ha⁻¹) con cuatro dosis de nitrógeno mineral en maíz (0, 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹). El diseño experimental de los ensayos es en parcela subdividida con cuatro repeticiones donde la parcela principal es el cultivo de invierno (cebada) y el maíz es la subparcela. El tamaño de cada parcela experimental es de 60 m² (6 x 10 m) y el ensayo abarca unos 3.000 m².

El sistema de riego es aspersión fija en marco de 18 x 18 m. La fertilización nitrogenada se aplicó en forma de nitrato amónico (34,5%). En la cebada se realizó una cobertera a primeros de marzo y en el maíz el total de nitrógeno se fraccionó en dos coberteras, la primera en V4 (4 hojas desarrolladas) y la segunda en V8 (8 hojas desarrolladas).

La cebada se siembra tras un trabajo previo del suelo y el maíz es sembrado con mínimo laboreo o en siembra directa. Tras ambas cosechas siempre se reti-



Cosecha de maíz en las parcelas experimentales.

ran los residuos del campo para facilitar y agilizar las siembras siguientes. La variedad de cebada utilizada en el ensayo de Algerri fue Gustav, sembrada a finales de enero a una densidad de 230 kg ha⁻¹. La siembra de la cebada en enero es bastante tardía, pero resulta habitual en los sistemas de doble cultivo debido a que las cosechas de maíz suelen acontecer a finales de noviembre y a partir de estas fechas, la climatología no siempre es favorable para las siembras. La variedad de maíz PR32W86 (FAO 600) se sembró a mediados de junio a una densidad de 85.000 plantas ha⁻¹ y con una distancia entre líneas de 0,72 m.

Ambos años se hicieron aplicaciones herbicidas. La cebada se trató contra dicotiledóneas (fluroxipir 20%, 1 l ha⁻¹) y en el maíz se aplicó un herbicida de post-emergencia contra monocotiledóneas y dicotiledóneas (4% mesotriona + 40% smetalocloro, 3,5 l ha⁻¹). Cuando el maíz tenía 5 hojas desarrolladas (V5), se trató específicamente contra el *Sorghum halepense* (6% nicosulfurón, 0,75 l ha⁻¹).

CUADRO I

RENDIMIENTO DE GRANO DE LA CEBADA Y DEL MAÍZ (kg ha⁻¹, 14% HUMEDAD) EN ALGERRI EN FUNCIÓN A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA. CAMPAÑAS 2013-2014 Y 2014-2015.

Año	Tratamiento Abonado nitrogenado		Rendimiento		
	Cebada (kg N ha ⁻¹)	Maíz (kg N ha ⁻¹)	Cebada (kg ha ⁻¹)	Maíz (kg ha ⁻¹)	Total cereal (kg ha ⁻¹)
2013-2014	0	0	2.872	6.161	9.033
		100	4.911	12.978	17.889
		200	5.877	13.853	19.730
		300	7.322	14.056	21.378
	100	0	5.171	7.160	12.332
		100	5.085	12.718	17.803
		200	5.463	13.797	19.260
		300	7.276	13.704	20.980
Significación		**	**	**	
2014-2015	0	0	2.469	7.167	9.636
		100	3.461	13.148	16.609
		200	4.949	13.756	18.704
		300	5.487	13.486	18.973
	100	0	5.387	8.858	14.246
		100	5.637	13.307	18.944
		200	5.475	14.149	19.624
		300	5.809	14.588	20.397
Significación		**	**	**	

* Diferencias significativas P<0,05, **Diferencias significativas P<0,01, NS No hay diferencias significativas

El rendimiento del maíz se determinó con una cosechadora experimental de tres líneas cosechándose una superficie de 22,5 m² en cada parcela experimental. En

la cebada, se cosechó de cada parcela una franja central de 1,5 m con un total de 15 m² por parcela. Posteriormente se calculó la humedad y se corrigieron los rendimientos de grano al 14% de humedad. El contenido de nitrógeno en el suelo se cuantificó después de cada cultivo de 0-30 cm de profundidad.

Resultados

Producción de grano

Los resultados que se presentan en este artículo son una parte del proyecto de fertilización en doble cosecha (cebada-maíz), correspondientes a las dos últimas campañas del ensayo localizado en Algerri. Siempre se han aplicado los mismos tratamientos en cada parcela, por lo tanto, se puede evaluar el efecto de cada tratamiento nitrogenado en el rendimiento de la cebada y del maíz, sin que existan distorsiones por efectos residuales

de la fertilización de otros cultivos previos.

En el **cuadro I** se muestran los rendimientos de grano obtenidos durante dos años por la cebada y el maíz, en función a la dosis de fertilización nitrogenada aplicada. Ambos años presentan una tendencia similar en las producciones, siendo las dosis totales de nitrógeno más altas (0 o 100 kg N ha⁻¹ en la cebada + 200 o 300 kg N ha⁻¹ en el maíz) las que obtienen mayor producción total de grano, pudiendo llegar a los 21.000 kg ha⁻¹.

Resulta interesante analizar el efecto residual del nitrógeno aplicado en el maíz sobre el cultivo posterior de cebada. En el tratamiento de 0 kg N ha⁻¹ en la cebada, se observa una tendencia ascendente en el rendimiento del cultivo con el aumento de las dosis de nitrógeno aplicadas al cultivo de maíz precedente (**figura 1**). Los

FIG 1. Rendimiento de la cebada, maíz y cebada+maíz (kg ha⁻¹) en función de la fertilización nitrogenada (kg N ha⁻¹). Media 2013-2014 y 2014-2015.



rendimientos de la cebada oscilan desde 2.900 kg ha⁻¹ hasta 7.300 kg ha⁻¹, y de 2.500 kg ha⁻¹ hasta 5.500 kg ha⁻¹, para los años 2014 y 2015 respectivamente, desde las dosis más bajas a las dosis más altas de nitrógeno aplicadas en el maíz. En el tratamiento de 100 kg N ha⁻¹ en la cebada, el efecto residual de la fertilización del maíz precedente queda tamponado y es mucho menos evidente que en el tratamiento sin aplicación de nitrógeno. Los rendimientos obtenidos en este caso (100 kg ha⁻¹ de N) son prácticamente iguales en todos los tratamientos (5.200-5.800 kg ha⁻¹), a excepción del tratamiento de 300 kg N ha⁻¹ en maíz que en el año 2014 se obtuvieron en la cebada 7.000 kg ha⁻¹. En el año 2015 no se alcanzaron los 7.000 kg ha⁻¹ de cebada en los tratamientos con mayor cantidad de nitrógeno aplicada y es probablemente debido a que la siembra tardía (finales de enero) y las altas temperaturas experimentadas durante el mes de mayo, provocaron que la planta se secase antes de acabar el proceso de llenado del grano.

Los resultados del estudio indican que, independientemente del abonado del cultivo anterior de maíz, resulta interesante aplicar una cierta cantidad de nitrógeno a la cebada para asegurar buenos rendimientos.

En el maíz, al igual que en la cebada, la no aplicación de nitrógeno supone obtener un rendimiento mucho menor que el



Los resultados del estudio indican que, independientemente del abonado del cultivo anterior de maíz, resulta interesante aplicar una cierta cantidad de nitrógeno a la cebada para asegurar buenos rendimientos

resto de los tratamientos, produciendo 6.000-7.000 kg ha⁻¹. En el resto de los tratamientos nitrogenados se alcanzan producciones bastante buenas para tratarse de málices de segunda cosecha (sembrados a mediados de junio). El tratamiento de 100 kg N ha⁻¹ en el maíz, independientemente del abonado de la cebada, presenta unos rendimientos de en torno a 13.000 kg ha⁻¹. Estos rendimientos suelen ser un poco inferiores a los obtenidos en los tratamientos fertilizados con 200 o 300 kg N ha⁻¹, que alcanzan producciones de 14.000 kg ha⁻¹. Por tanto, los resultados indican que las producciones máximas de maíz en doble cosecha pueden obtenerse aplicando 200 kg N ha⁻¹ al maíz, fraccionado la dosis en

dos o más coberturas para aumentar la eficiencia del nitrógeno.

Nuestros resultados coinciden con los publicados por Gil (2013) en los regadíos de Aragón, donde con la aplicación de 110 y 240 kg N ha⁻¹, en cebada y maíz respectivamente, obtuvieron una producción total de cereal de 19.600 kg ha⁻¹ (5.800 kg ha⁻¹ de cebada y 13.800 kg ha⁻¹ de maíz). Los resultados del ensayo se corresponden a su vez a los presentados por Lloveras y Cabases (2015), nuestros rendimientos de grano por unidad de superficie se muestran superiores a los rendimientos habituales en la cosecha de un solo cultivo.

Contenido de nitrógeno en el suelo

Al final de cada cultivo suele quedar un remanente de nitrógeno en el suelo que es un indicador de la eficiencia del cultivo a la dosis de fertilizante aplicada.

El contenido de nitrógeno existente en los primeros 30 cm de suelo se muestra en el **cuadro II**. Estas cantidades de nitrógeno indican que el N-NO₃⁻ posterior al cultivo de la cebada no depende de la cantidad de nitrógeno aplicada a este cultivo (0 o 100 kg N ha⁻¹), ni a la cantidad de nitrógeno aplicada al cultivo de maíz precedente (0, 100, 200 o 300 kg N ha⁻¹). En todos los casos la cantidad de nitrógeno residual es baja para el siguiente cultivo de



Izquierda. Determinación del rendimiento de grano de maíz en campo. Cosechado de parcela experimental. Centro: Muestreo del contenido de nitrógeno residual en suelo después de la cosecha del maíz a profundidades de 30-60 y 60-90 cm. Dcha.: Muestreo del contenido de nitrógeno residual en el suelo tras la cosecha de cebada.

(Continúa en pág. 34)

maíz, 11-17 kg N ha⁻¹, aunque se considera suficiente para la emergencia del maíz y el desarrollo de las primeras etapas.

Por otro lado, tras el cultivo del maíz sí que se observan diferencias significativas en la cantidad de nitrógeno residual del suelo, oscilando desde los 20 kg N ha⁻¹ en el tratamiento sin nitrógeno, hasta los 250 kg N ha⁻¹ del tratamiento con 300 kg N ha⁻¹. Estas cantidades tan altas de

nitrógeno residual después del maíz, son las que provocan que la producción de la cebada siguiente sea tan alta, aún sin aplicar nitrógeno, equiparando los rendimientos obtenidos sin fertilización nitrogenada a los rendimientos obtenidos en las parcelas fertilizadas con 100 kg N ha⁻¹. Según nuestros resultados, aplicar todo el nitrógeno al maíz podría facilitar el manejo del doble cultivo dado que se simplifica la fertilización del conjunto, pero puede tener

inconvenientes. Uno de ellos es el alto riesgo de lixiviación del nitrógeno residual después del maíz, sobre todo si el invierno posterior es lluvioso y se retrasa la siembra de la cebada.

Consideraciones finales

La doble cosecha cebada-maíz es una alternativa ambiciosa y puede ayudar a rentabilizar los regadíos si se pueden gestionar bien ambos cultivos. Los 21.000 kg ha⁻¹ de

cereal obtenidos en la suma de las dos cosechas, supone aumentar entorno a un 15-20% el rendimiento de grano de una cosecha única de maíz. Si bien es cierto, algunos productores de la zona alcanzan cifras cercanas a los 20.000 kg ha⁻¹ en una cosecha única de maíz (Biau *et al.*, 2013), aunque no es lo habitual.

A su vez, hay que ser consciente de las dificultades que implica sembrar dos cultivos en un año, ya que se reducen los tiempos de actuación en el campo y si las condiciones no acompañan o si el manejo no es el adecuado, se puede sacar igual o incluso menos rentabilidad que en una sola cosecha de maíz.

El total del nitrógeno aplicado al sistema de doble cultivo debería fraccionarse entre la cebada y el maíz. Pese a que el estudio muestra que el hecho de que haya un cultivo siempre sobre el terreno ayuda a evitar pérdidas de nitrógeno por lixiviación, el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas existe y la manera de evitarlo y hacer más eficiente el uso del nitrógeno es distribuir su aplicación a lo largo de la temporada. En nuestro caso, una aplicación de 100 kg N ha⁻¹ en cebada y 200 kg N ha⁻¹ en maíz parece la mejor opción para obtener el máximo rendimiento potencial de la doble cosecha (cebada-maíz) en la mayoría de los casos. ■

CUADRO II

CONTENIDO DE NITRÓGENO RESIDUAL DE 0-30 CM DE PROFUNDIDAD (kg N ha⁻¹) DESPUÉS DE CADA CULTIVO (CEBADA O MAÍZ). MEDIA 2013-2014 Y 2014-2015.

Campo	Tratamiento cebada (kg N ha ⁻¹)	Nresidual (julio) (kg N ha ⁻¹)	Tratamiento maíz (kg N ha ⁻¹)	Nresidual (diciembre) (kg N ha ⁻¹)
Algerni	0	14	0	23
		14	100	39
		11	200	188
		13	300	201
	100	11	0	28
		17	100	44
		15	200	222
		14	300	249
Significación		NS	-	**

* Diferencias significativas P<0,05, **Diferencias significativas P<0,01, NS No hay diferencias significativas



Extracción y determinación del contenido de nitrógeno en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Biau, A., Santiveri, P., Lloveras, J. 2013. El manejo de los residuos de maíz y sus efectos en la producción y en la calidad del suelo. *Vida Rural* 356: 37-40.
- Gil, M. 2013. Cebada y maíz rastrojero. Productividad económico-ambiental de la fertilización con purín. *Información Técnica* n°245. Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Lloveras, J., Cabases, M. 2015. Costes de producción de cultivos extensivos en secano y regadío. *Vida Rural* 401. Pp. 38-47.
- Lloveras, J. 1987. Forage production and quality of several crop rotations and pastures in Northwestern Spain (Galicia). *Grass and Forage Science* 42: 241-247.
- MAGRAMA, 2015. Encuesta sobre superficie y rendimientos de los cultivos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- Pujol, M. 1984. Producción de forrajes en Cataluña. *Pastos*. XIV (1): 1-34.