

Diversificación sostenible de los sistemas de cultivo mediante la introducción de leguminosas

Se está produciendo en el sector un interés creciente por la proteína vegetal y las leguminosas

En este artículo se presentan algunos de los resultados obtenidos en el proyecto de investigación europeo LegumeGap y el Grupo Operativo supraautonómico LegSapiens en los que la diversificación de los sistemas de cultivo mediante leguminosas ha sido uno de los principales objetivos. Se ha cuantificado el potencial del haboncillo y el guisante en rotación con cereal de invierno y se ha evaluado la introducción del cultivo de la soja en cosecha única o doble cosecha tras cebada, como alternativa al tradicional monocultivo de maíz.

Daniel Plaza-Bonilla, Louise Blanc, Andreu Dago y Genís Simon-Miquel.

Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola - Agrotecnio-CERCA Center, Universidad de Lleida.



Foto 1. Ensayo de rotaciones de cereal de invierno de secano con haboncillo y guisante en combinación con distintas dosis de fertilizante nitrogenado mineral aplicado en cobertera en Selvanera (Lleida).

Europa, y España en particular, presentan una gran dependencia de las importaciones de proteína de potencias agrícolas como Estados Unidos, Brasil, Argentina, etc. En el caso de España, la importación de materia prima para la producción de piensos es un elemento clave para sostener la industria

cárnica que ha sido, y sigue siendo, el sostén de numerosas zonas rurales como las del noreste peninsular, especialmente las de secano semiárido. La importancia socioeconómica de la proteína viene perfectamente demostrada por la magnitud de las importaciones, que ascienden a cerca de 1,5 millones de toneladas de

proteína de soja anuales (Simon-Miquel *et al.* 2021).

En paralelo, el interés para el desarrollo local de la producción de proteína vegetal mediante leguminosas va en aumento. Los productores agrícolas buscan alternativas viables a los monocultivos de cereal, tanto en condiciones de secano

(altamente basados en la cebada en España), como en regadío (basados en el maíz). Las reformas de la Política Agrícola Común, así como los recientes eco-regímenes, también han creado un caldo de cultivo propicio para la introducción de cultivos alternativos, especialmente los de leguminosas. Finalmente, es de esperar que ciertas iniciativas de la industria alimentaria local se plasmen y que lleguen a suponer alternativas de mercado rentables para los productores.

En esa línea, a continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos en el proyecto de investigación europeo LegumeGap (PCI2019-103597 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y cofinanciado por la Unión Europea) y el Grupo Operativo supraautonómico LegSapiens (financiado por el MAPA y FEDER) en los que la diversificación de los sistemas de cultivo mediante leguminosas han sido uno de los principales objetivos.

Haboncillo o guisante en una rotación de secano

En el marco del proyecto europeo LegumeGap se cuantificó el potencial del haboncillo (habines) y el guisante en rotaciones de tres años con cereal de invierno mediante técnicas de agricultura de conservación. Este ensayo se ha realizado con la colaboración con la empresa Mas Masco.

Se compararon tres rotaciones frente a un monocultivo de trigo, haboncillo-trigo-cebada, guisante-trigo-cebada y cultivo cubierta-trigo-cebada, cada una de ellas combinada con distintas dosis de fertilizante nitrogenado aplicado en cobertura (0, 40, 80, 120 kg N ha⁻¹) (**foto 1**). El ensayo de campo estuvo localizado en Selvanera (Lleida) en una zona de unos 430 mm de precipitación anual y tuvo lugar durante tres campañas (2019/20, 2020/21 y 2021/22). Entre otros, se valoró el potencial de fijación de nitrógeno at-



Foto 2. Siembra de soja sobre cubierta de centeno en un ensayo de sistemas de cultivo de regadío localizado en Sucs (Lleida).

mosférico de las leguminosas, mecanismo del que se disponen escasos datos locales de suficiente robustez.

Datos productivos

De los datos obtenidos, se desprende un mejor comportamiento productivo del haboncillo (variedad Axel, que obtuvo un rendimiento en grano entre 1.378 y 4.251 kg ha⁻¹) en comparación con el guisante (variedad Aviron, con un rendimiento de entre 0 y 840 kg ha⁻¹). Esta diferencia se justificó por su mayor competitividad con las malas hierbas (porte más erecto y mayor cobertura del suelo en estados vegetativos tempranos), una mayor resistencia al encamado (que reduce la pérdida de vainas durante la cosecha) y una menor susceptibilidad a los gorgojos que el guisante.

Fijación de nitrógeno atmosférico

La cantidad de nitrógeno atmosférico fijada, gracias a la simbiosis que realizan las leguminosas con bacterias del suelo, fue también mayor en el haboncillo que en el guisante. Así, en los tres años de ensayo (cosechas de 2020, 2021 y 2022) la cantidad fijada por el haboncillo fue de 200, 66 y 38 kg N ha⁻¹, mientras que para el guisante fue de 88, 41 y 27 kg N

ha⁻¹. Las grandes diferencias interanuales de los valores de rendimiento y de fijación de N están explicadas por las pluviometrías de las campañas estudiadas (422, 285 y 212 mm de noviembre a junio en 2019/20, 2020/21 y 2021/22, respectivamente). En todos los casos excepto en el haboncillo de 2022, la cantidad de N fijada fue de 3 a 88 kg ha⁻¹ superior a la cantidad exportada en el grano. De ello se desprende la importancia de conocer, mediante datos obtenidos localmente, qué cantidad de nitrógeno pueden obtener de la atmósfera las leguminosas que cultivamos y qué parte de esta cantidad quedará en el suelo para ser aprovechada por los cultivos posteriores.

Producción de los cultivos siguientes en la rotación

En el trigo posterior al guisante y al haboncillo se registró un incremento de productividad del 16,5% de media sobre un rendimiento de trigo base de 4.121 y 2.211 kg ha⁻¹ en 2020/21 y 2021/22, respectivamente. La mejora del rendimiento de trigo fue la misma independientemente de la leguminosa precedente. Un resultado clave del ensayo fue la producción de proteína de cada rotación en función de las distintas dosis de fertilizante nitrogena-

do aplicadas. La rotación con haboncillo (haboncillo-trigo-cebada) fue la que mayor producción de proteína por hectárea alcanzó en el global de los 3 años de la rotación. Únicamente aplicando 120 kg N ha⁻¹ anualmente, el monocultivo de trigo alcanzó el mismo nivel de productividad de proteína. Dadas las grandes limitaciones hídricas de los secanos en España, y del valle del Ebro en particular, la valoración económica de la producción de grano por su contenido en proteína sería un revulsivo interesante y justo para la incorporación de alternativas de cultivo en las rotaciones. La proteína es un componente clave en los piensos de alimentación animal y, como no, también en las legumbres o leguminosas de consumo humano.

Soja en una rotación de regadío

En el marco del proyecto LegumeGap se evaluó la introducción del cultivo de la soja en cosecha única o doble cosecha tras cebada como alternativa al tradicional monocultivo de maíz. El ensayo se llevó a cabo en una finca comercial de 7 hectáreas regada por aspersión en Sucs (Lleida) mediante la colaboración con la empresa familiar Jolbertal. Se compararon cuatro sistemas de cultivo durante tres años: un monocultivo de maíz, la incorporación de soja de cosecha única en rotaciones de tres años con maíz, una doble cosecha de cebada y maíz y una doble cosecha de cebada y soja.

En el caso de las cosechas únicas de maíz y soja se estudió la utilización de una cubierta vegetal de centeno y su posterior terminación mediante rolos faca (del inglés, *roller crimper*) individuales acoplados cada cuerpo de una sembradora de siembra directa (foto 2). El ensayo se manejó mediante una visión de “sistema”, adaptando las prácticas de manejo (como el riego o la protección del cultivo con fitosanitarios) a cada uno de los sistemas de cultivo comparados. La



Foto 3. Soja sobre cubierta de centeno en un ensayo de regadío localizado en Sucs (Lleida).

fertilización nitrogenada se adaptó específicamente a cada uno de los sistemas, siendo los aportes calculados en función de las necesidades de los cultivos, el nitrógeno nítrico residual en el suelo y una simulación de la mineralización de la materia orgánica.

Resultados productivos

Fueron numerosos los resultados obtenidos en los tres años de ensayo. A modo de síntesis, se observó un incremento del 28% en el rendimiento del cereal cultivado después de la soja (ya fuese maíz en el sistema de cosecha única o cebada en el de doble cosecha) en comparación con los sistemas únicamente basados en cereal (monocultivo de maíz y doble cosecha cebada-maíz, respectivamente) (Simon-Miquel *et al.* 2023a). La doble cosecha de cebada y soja produjo la mayor cantidad de proteína (1,78 t ha⁻¹ año⁻¹), en comparación con el resto de sistemas ensayados, que produjeron alrededor de 1 t ha⁻¹ año⁻¹. Esta mayor productividad vino acompañada, además, de una necesidad menor de fertilizante nitrogenado. En los tres años estudiados se aplicaron 495 kg N ha⁻¹ en el monocultivo de maíz y 420 kg N ha⁻¹ en la doble cosecha

cebada-maíz. En cambio, en la rotación trienal de soja y maíz de cosecha única se aplicaron 352 kg N ha⁻¹ y en la doble cosecha cebada-soja se aplicaron 90 kg N ha⁻¹ (Simon-Miquel *et al.* 2023a). Es importante resaltar que los valores aquí mostrados corresponden a la suma de fertilizante nitrogenado de síntesis aplicado durante los tres años de ensayo. Estas magnitudes deben tomarse de forma relativa, comparándose entre ellas. Es de sobra conocido que la dosis de fertilizante debe adaptarse a cada condición.

Resultados económicos preliminares

Los resultados económicos de los sistemas analizados, aún no publicados y presentados aquí de forma preliminar, indicarían una rentabilidad menor en el caso de la introducción de la soja en rotación con maíz como cultivos de cosecha única en comparación con el monocultivo de maíz. Dicho resultado se explica por los elevados rendimientos de maíz en cosecha única en este ensayo (15,4 t ha⁻¹ de media) y los resultados medios de soja de cosecha única (3,4 t ha⁻¹ de media). La rentabilidad de las dobles cosechas fue superior a las cosechas únicas y mostraría un resultado más favorable en

el caso de la doble cosecha de cebada y soja que la de cebada y maíz de ciclo corto. Se debe tener en cuenta que el análisis económico considera un destino de consumo humano para la soja y uno de pienso para el maíz. Un punto clave para entender dichos resultados está en los rendimientos de soja obtenidos en cosecha única y en doble cosecha (3,3 y 3,2 t ha⁻¹ de media, respectivamente). La falta de diferencias entre ambos sistemas observada en este experimento fue la causa, en parte, de la menor rentabilidad de la rotación con soja frente a un monocultivo de maíz de alto rendimiento. Sin embargo, la falta de diferencias también sugiere que hay espacio de mejora en la soja de cosecha única, ya sea a través de manejo (fechas de siembra, inoculación, etc.) o material vegetal más adecuado.

Potencial de la cubierta de centeno

En el mismo ensayo se evaluó el potencial del uso de la cubierta de centeno como medida de control de las malas hierbas en el cultivo de la soja (**foto 3**) en comparación con la utilización de herbicidas (sí y no) y el estrechamiento de la distancia entre líneas de siembra (de 76 a 38 cm).

Los resultados observados mostraron diferencias en el control de malas hierbas en función de la cantidad de centeno que había cubriendo el suelo. Así, en la campaña 2020, en la que se obtuvieron unas 11,8 t ha⁻¹ de materia seca de centeno, el peso de las malas hierbas se redujo en un 92% al usar la cubierta de centeno en comparación con el testigo sin tratar con herbicida y sin cubierta. En cambio, en 2021, no se observó un efecto significativo de la cubierta de centeno sobre el

peso de malas hierbas, dado que la cantidad de centeno conseguida fue de solo 3,4 t ha⁻¹ de materia seca, debido a la menor cantidad de lluvia recibida durante el invierno (Simon-Miquel *et al.* 2023b). El estrechamiento de la distancia entre líneas no tuvo ningún impacto sobre la productividad de la soja, con lo que en un escenario de utilización de cubiertas vegetales y posterior control mediante rolo faja se desaconsejaría sembrar soja con dos pases de sembradora de maíz.

Cultivos de relevo

De los resultados obtenidos en el proyecto LegumeGap, así como la experiencia conseguida por otras iniciativas y actores, se desprende el potencial de la soja como segunda cosecha. Es por ello importante buscar estrategias y alternativas

DESCUBRE MÁS EN FRUIT ATTRACTION. IFEMA
3 AL 5 DE OCTUBRE 2023 - PABELLÓN 3. STAND 3C25

ADN SOSTENIBLE

100% CARTÓN
EFICIENCIA Y SOSTENIBILIDAD

SOMOS GARANTÍA, SOMOS CALIDAD, SOMOS UNIQ
grupouniq.com | afco.es





Foto 4. Cultivo de relevo de trigo y soja en un ensayo demostrativo de regadío localizado en Sucs (Lleida).

que ayuden a mejorar la productividad de las dobles cosechas. Una opción muy escasamente desarrollada en Europa es la siembra del segundo cultivo durante el desarrollo del primero, lo que se conoce como cultivo de relevo. Con el cultivo de relevo se puede conseguir obtener dos cosechas de grano por año en zonas que actualmente no permiten dobles cosechas para grano (Lamichhane *et al.* 2023). En nuestras condiciones mediterráneas de regadío obtener dos cosechas de grano al año es perfectamente viable y ampliamente llevado a cabo en el valle del Ebro, así como en otras zonas. Es por ello que nuestro equipo de investigación ha liderado el primer ensayo de cultivo de relevo de trigo y soja en España (y uno de los primeros en Europa), como estrategia para tratar de aumentar la productividad del conjunto y con el objetivo de obtener una serie de mejoras ambientales.

En el marco del Grupo Operativo supraautonómico LegSapiens se llevó a cabo una demostración de campo en la que se desarrolló un sistema de cultivo de relevo en el que tres variedades distintas de soja (con grupos de madurez -I,

I y II) se sembraron dentro de un cultivo de trigo en pleno desarrollo, justo antes del inicio del período de floración de éste (foto 4). La configuración de la siembra del trigo se adaptó para facilitar la posterior siembra de la soja mediante líneas apareadas.

El manejo de los sistemas de cultivo de relevo presenta complejidad durante la siembra, en el control de malas hierbas y durante la cosecha del cultivo de invierno. Para evaluar de forma objetiva su productividad, el cultivo de relevo de trigo y soja se comparó con una doble cosecha de trigo y soja usando las mismas variedades de ambos.

Los resultados preliminares obtenidos, de una única campaña de cultivo, mostraron unos niveles de productividad similares a los de la doble cosecha. El rendimiento de trigo fue similar en ambos sistemas (cultivo de relevo y doble cosecha) alcanzando una media de 6.357 kg ha^{-1} . Este valor es menor al esperado en esta zona regable del Sistema Aragón y Cataluña, lo que se debe, en parte, a las fuertes heladas acontecidas a inicios de abril de 2022, que afectaron el inicio del período reproductivo del cereal y que fueron

catastróficas para la producción de fruta dulce del este del valle del Ebro. La productividad de la soja también fue similar en ambos sistemas con valores entre los 1.830 y 1.957 kg ha^{-1} para las variedades sembradas en cultivo de relevo y entre los 2.077 y 2.638 kg ha^{-1} para las sembradas en doble cosecha.

Los niveles de proteína en grano de soja tampoco presentaron diferencias significativas entre sistemas siendo de un $36,1\%$ (como promedio de los sistemas de cultivo de relevo y de doble cosecha). No obstante, es importante recordar que este nivel de proteína es inferior al establecido por la industria alimentaria de soja de consumo humano.

Conclusión

La diversificación de cultivos es una herramienta necesaria para mejorar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas que debe venir acompañada de unas buenas prácticas de manejo y una utilización razonada de los medios de producción. Los resultados aquí divulgados se han obtenido en ensayos de campo en explotaciones comerciales y mediante la participación activa del sector. ■

BIBLIOGRAFÍA

Lamichhane, Jay Ram; Alletto, Lionel; Cong, Weng-Feng; Dayoub, Elana; Maury, Pierre; Plaza-Bonilla, Daniel; Reckling, Moritz; Saia, Saia; Soltani, Elias; Tison, Gilles; Debaeke, Philippe. 2023. Relay cropping for sustainable intensification of agriculture across temperate regions: Crop management challenges and future research priorities. *Field Crops Research* 291, 108795.

Simon-Miquel, Genís; Baraibar, Bàrbara; Plaza-Bonilla, Daniel. 2021. Sistemas de cultivo innovadores basados en las leguminosas: iniciativas en la Universidad de Lleida-Agrotecnio CERCA Center. *Tierras de Castilla y León: Agricultura* 295, 106-110.

Simon-Miquel, Genís; Reckling, Moritz; Lampurlanés, Jorge; Plaza-Bonilla, Daniel. 2023a. A win-win situation – Increasing protein production and reducing synthetic N fertilizer use by integrating soybean into irrigated Mediterranean cropping systems. *European Journal of Agronomy* 146, 126817.

Simon-Miquel, Genís; Reckling, Moritz; Recasens, Jordi; Plaza-Bonilla, Daniel. 2023b. Alternatives for sustainable weed control in single- and double-cropped soybean: A case study for Mediterranean irrigated conditions. *Agronomy Journal*. DOI: 10.1002/agi2.21409



Semillas

**COMPROMETIDOS CON
LA AGRICULTURA**



**En otoño y en primavera,
elige la genética de Semillas LG**



lgseeds.es



Limagrain