



Cultivos de invierno de cereal y leguminosa para optimizar la producción de proteína de forraje ecológico

Resumen

El principal coste de producción de leche y carne de las explotaciones agroganaderas ecológicas es la compra de ingredientes para la dieta de los animales, destacando el elevado precio de la proteína ecológica.

Este trabajo ha comparado diferentes alternativas forrajeras de invierno basadas en cereales y leguminosas para identificar las que más proteína pueden producir permitiendo una mayor reducción de las importaciones de este ingrediente. Para ello se estableció un ensayo de campo donde se comparó la producción y calidad forrajera de cinco tipos de cereales de invierno (cebada, cebada híbrida, avena, trigo blando de primavera y de invierno), solos o asociados con diferentes especies de leguminosas (habín, guisante, veza, trébol violeta y trébol balanza), en una proporción de 75 % cereal y 25 % leguminosa en relación a la densidad de un cultivo puro, con aprovechamiento en el estado fenológico de fin de floración o de grano pastoso.

Los resultados de la investigación han mostrado un efecto significativo del cultivo y de la fecha de aprovechamiento, pero no de la asociación con leguminosa, sobre la producción y la proteína, así como en la mayor parte de los parámetros de calidad de los forrajes obtenidos. Los forrajes de aprovechamiento más precoz con las cebadas son los que han producido mayor cantidad de proteína. La asociación tiende a incrementar la proteína, pero el efecto de las leguminosas en las proporciones

evaluadas ha sido limitado, lo que también se ha reflejado en su contribución al nitrógeno residual del suelo. Se ha realizado un cálculo teórico para estimar la contribución a las necesidades anuales de proteína de las vacas en lactación con los forrajes de invierno. En base a los resultados del ensayo, se ha encontrado que el forraje de invierno puede generar reducciones significativas de hasta un 30 % en las necesidades de compra de proteína.

La conclusión es que, la optimización de la producción forrajera es clave para disminuir los costes de producción y mejorar la sostenibilidad de las explotaciones agroganaderas.

Introducción

Las explotaciones de ganado vacuno representan más de la mitad de las explotaciones ganaderas ecológicas en Catalunya, siendo la superficie dedicada a pasto y producción de forrajes ecológicos para alimentar al ganado, cerca del 67 % de la superficie para cultivo en producción ecológica (CCPAE, 2023).

La compra de alimentos para complementar la alimentación de los animales representa, a menudo, el principal coste de producción en muchas de estas explotaciones (Casasnovas-Oliva y Aldanondo-Ochoa, 2014; Sineiro *et al.*, 2016), siendo la soja ecológica, comprado como suplemento proteico, uno de los ingredientes con un precio más alto. Por otra parte, se recomienda que las explotaciones ecológicas dispongan de la máxima producción propia de alimentos destinados al ganado y un 60 % de la dieta de los animales, en términos de materia seca, debe estar conformada por forrajes (DARP, 2018). De esta forma, la optimización de la producción forrajera es esencial para el abaratamiento de los costes de producción, al tiempo que

Jordi Doltra, Carme Roig y Joan Serra. IRTA (Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias). Cultivos Extensivos Sostenibles



Figura 1. Riumors 23-03-2023. Aspecto general del ensayo (Foto: IRTA).

se garantizan aspectos normativos y se contribuye a la mejora de la sostenibilidad de estos sistemas productivos.

Obtener forrajes de invierno con una alta producción de proteína puede suponer una buena estrategia para complementar la productividad dada por el cultivo de verano, normalmente maíz, y optimizar la producción anual de forrajes producidos en las explotaciones.

Una forma de mejorar la producción de proteína ecológica en forraje de invierno puede realizarse a través de los cultivos asociados de cereal y leguminosa, donde la fracción de cereal produce un mayor contenido de materia seca y la leguminosa permitiría incrementar la proteína del forraje. La producción y calidad forrajera de estos cultivos está muy influenciada tanto por las especies y variedades de cereales y leguminosas (Bacchi y col., 2021; Confalone y col., 2011) como por su adaptación a la zona de producción.

Existe poca información disponible relacionada con los cultivos forrajeros de invierno de cereal y leguminosa que más proteína pueden aportar en producción ecológica en la zona del litoral y prelitoral catalán. En esta investigación se han evaluado 35 alternativas forrajeras de invierno basadas en cultivos de cereales y leguminosas, y sus asociaciones, con el objetivo de determinar aquellos cultivos con mejor producción y que más pueden contribuir a la soberanía proteica de las explotaciones agroganaderas ecológicas tanto de vacuno como de otras orientaciones productivas.

Ensayo de alternativas forrajeras de invierno de producción ecológica

Se estableció un ensayo con diferentes cultivos forrajeros en una parcela de producción ecológica ubicada en Riumors (Alt Empordà, Girona). Las principales características del suelo y de las operaciones de cultivo se recogen en la Tabla 1.

Se compararon las producciones de treinta y cinco cultivos forrajeros de invierno resultantes de la combinación de cinco tipos de cereales y cinco leguminosas en cultivos asociados de dos especies y en cultivos puros.

Los cereales evaluados en el estudio fueron la avena (*Avena sativa* L. cv "Forridena"), la cebada (*Hordeum vulgare* L.) híbrido de elevado potencial productivo (cv "Zoo") y común (cv "Meseta"), y el trigo (*Triticum aestivum*) de las variedades Vallbona (ciclo primavera) y Filon (ciclo de invierno). Por otro lado, las leguminosas que se evaluaron son el trébol violeta (*Trifolium pratense* L.), el trébol balanza (*Trifolium michelianum* L.), la veza (*Vicia sativa* L., cv "Prontivesa"), el guisante (*Pisum sativum* L. cv "Forrimax") y el haba o habín (*Vicia faba* L.).

Las asociaciones de cultivo se realizaron con una proporción de siembra del 75 % para el cereal y del 25 % para la leguminosa y en relación con la densidad de siembra que tendría cada especie en cultivo puro (Tabla 1).

La siembra de todos los forrajes se realizó en parcelas elementales de 5 m de longitud y 1,2 m de ancho. El dispositivo experimental constó de 245 parcelas elementales (35 cultivos x 3 repeticiones x 2 fechas de aprovechamiento, con un bloque adicional para la separación de fracciones en las asociaciones) dispuestas en bloques al azar.

El aprovechamiento se hizo con máquina cosechadora de forrajes para pequeña parcela, en dos momentos diferentes: entorno a la floración (BBCH 60-69 de los cereales) y entorno a grano pastoso (BBCH 80-89 de los cereales). De cada parcela se tuvo el peso fresco y se tomó muestra suficiente para la determinación de la humedad y la materia seca, y, en dos de las repeticiones, para caracterizar la calidad forrajera.

Se realizó un seguimiento de la implantación de los cultivos y de las leguminosas en las asociaciones. Se determinó la biomasa en una superficie aproximada de 1,5 m² entre las dos fechas de aprovechamiento, el 20 de abril, para determinar la proporción de cada especie en los cultivos asociados. También

Tabla 1. Localización, principales características fisicoquímicas del suelo (0-30 cm) y operaciones de cultivo del ensayo.

Características del ensayo	
Localidad: Riumors (Alt Empordà, Girona)	
Suelo: Arcilla	32,3 %
Limo	53,1 %
Arena	14,5 %
Textura	Franco-arcillo-limosa
Materia orgánica	3,14 %
pH	8,1
Nitrógeno (Kjeldahl)	0,24 %
Fósforo (Olsen)	38,0 ppm
Potasio	324 ppm
Relación C/N	7,63
Aplicación deyecciones	Agosto 2022
Siembra forrajes	28/10/2022
Densidades de siembra cebada y trigo	450 semillas/m ²
Densidad siembra cebada híbrida	150 semillas/m ²
Densidad siembra avena	350 semillas/m ²
Densidad siembra haba	30 semillas/m ²
Densidad siembra guisante	100 semillas/m ²
Densidad siembra veza	150 semillas/m ²
Densidad siembra trébol violeta	25 semillas/m ²
Densidad siembra trébol balanza	5 semillas/m ²
Aprovechamiento forrajero (BBCH 60-69)	13/04/2023
Aprovechamiento forrajero (BBCH 80-89)	09/05/2023

se muestreó el suelo (0-30 cm), el 11 de noviembre, para caracterizar los principales parámetros físico-químicos de éste y determinar el nitrógeno mineral (N min) en formato nítrico y amoniacal disponible en la situación de partida. Se volvió a muestrear el suelo, a la misma profundidad, el 29 de mayo para la determinación del N min residual en los cultivos de leguminosas y del trigo ("Valbona") en cultivo puro y en mezcla con cada leguminosa. El análisis estadístico de resultados se realizó con un modelo lineal mixto y el paquete SAS.

Estimación de la contribución de los forrajes de invierno a las necesidades de proteína anuales de vacas en lactación

Los resultados del ensayo se han utilizado para estimar cómo pueden contribuir los forrajes de invierno, basados en cultivos de cereales y leguminosas, a mejorar la autonomía proteica de las explotaciones ecológicas de vacuno de leche. Se definieron escenarios teóricos de necesidades proteicas para alimentar a las vacas en lactación en dos modelos virtuales de explotaciones. Ambas tipologías de explotaciones se definieron por el número de vacas en producción y su grado de intensificación

según la ingesta diaria total. De esta forma, se ha considerado un modelo menos intensivo (M1) que represente explotaciones pequeñas, con 35-55 vacas en lactación y una ingesta media diaria de 21,5 kg MS/día por animal. El otro modelo contemplado representa explotaciones de tamaño medio a grande y más intensivo (M2) con 90-150 vacas en lactación e ingesta media diaria por vaca de 22,5 kg MS/día. A partir de la cantidad de proteína producida por los forrajes de invierno del ensayo se estimó la superficie teórica requerida para el suministro proteico total para las vacas en lactación, con un rango de dietas de concentración en proteína bruta (PB) entre el 16 % y el 20 %. La estimación no incluyó dietas de otros animales de la explotación (vacas secas, terneros, etc.).

Resultados

Los tréboles, violeta y balanza, no se llegaron a implantar en las asociaciones debido a un nacimiento muy retrasado y se descartó también su aprovechamiento como cultivo puro. En el momento de la siega, las leguminosas representaban menos del 5 % en las asociaciones, siendo las cebadas los cereales más competitivos (Figura 2).

Figura 2. Proporción de cereal (naranja) y leguminosa (verde) en los forrajes de invierno con asociación de dos especies.

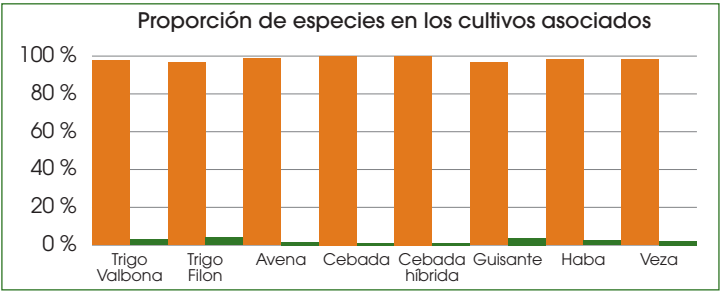


Figura 3. Producción de forraje de invierno según el tipo de cereal (p-valor < 0,0001). Letras diferentes = valores significativamente diferentes (test de mínimos cuadrados). Cebada-Z es cebada híbrida.

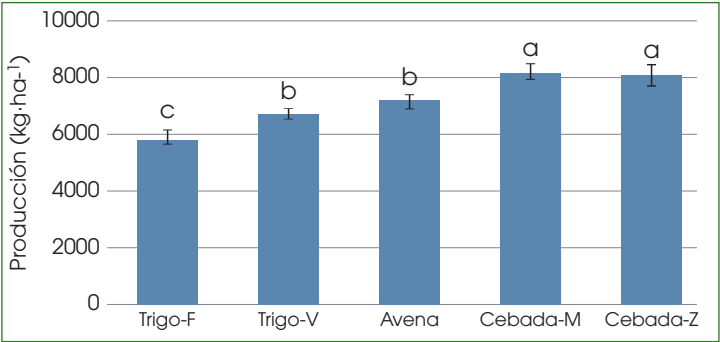
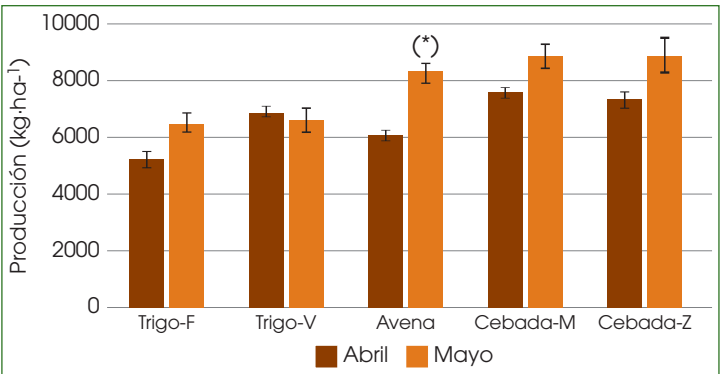


Figura 4. Producción de forraje de invierno según tipo de cereal y fecha de siega (p-valor < 0,01). Cebada-Z es cebada híbrida



Producción de materia seca de los forrajes

Los resultados de materia seca (MS) muestran un efecto significativo del cultivo de cereal forrajero y de la fecha de aprovechamiento en la producción, pero no de la asociación (Tabla 2). En el análisis no se incluyeron las leguminosas como cultivos puros ya que éstas presentaban rendimientos mucho menores que los cereales.

Tabla 2. Efecto del momento de aprovechamiento (FECHA), del cultivo (CULT) y de la asociación (ASOC), así como sus interacciones en la producción de forraje. P<0,0001 (***), p<0,001 (**), p<0,05 (*) y p>0,05 (ns).

Efecto	p-valor	Significación
FECHA	<0,0001	***
CULT	<0,0001	***
ASOC	0,9966	ns
FECHA*CULT	0,0082	*
FECHA*ASOC	0,3185	ns
CULT*ASOC	0,6612	ns
FECHA*CULT*ASOC	0,2557	ns

La cebada, tanto convencional (8.204 kg MS/ha) como híbrida (8.091 kg MS/ha), ha sido el forraje más productivo (Figura 3). Por el contrario, el trigo de invierno ha sido el forraje de menor rendimiento (5.848 kg MS/ha), dado en parte por un ciclo fenológico que ha resultado demasiado largo en la campaña del estudio y para la zona del ensayo. La avena y el trigo de primavera presentaron comportamientos productivos intermedios.

La producción de materia seca fue más elevada el 9 de mayo (7.822 kg MS/ha) que el 13 de abril (6.587 kg MS/ha) al considerar el conjunto de cultivos con cereal. La avena fue el cultivo que más incrementó la producción en mayo (8.313 kg MS/ha), respecto al mes de abril (6.035 kg MS/ha) (Figura 4). El trigo de ciclo más corto fue el único cultivo que no mejoró el rendimiento con un aprovechamiento más tardío. Aunque no se diferenciaron estadísticamente de la avena en mayo, los valores de producción más altos se produjeron en este aprovechamiento en la cebada híbrida (8.875 kg MS/ha) y convencional (8.848 kg MS/ha).

Proteína y calidad forrajera

El tipo de cereal y la fecha de aprovechamiento han tenido un efecto significativo en los principales parámetros de calidad forrajera (Tabla 3). La cebada, híbrida y convencional, con el 17,1 % y la avena con el 17 %, han sido los forrajes con mayor concentración de proteína bruta (PB) cuando se consideran el conjunto de cultivos de cereal, asociados o no, y las fechas de aprovecha-

Tabla 3. Efecto del momento de aprovechamiento (FECHA), del cultivo (CULT) y de la asociación (ASOC), así como sus interacciones sobre la concentración (%) de proteína bruta (PB), almidón (M), fibra ácido detergente (FAD) y neutro detergente (FND), ácidos grasos totales (AG), energía metabolizable (EM, Mcal/kg) y Valor Relativo del Forraje (VRF). P<0,0001 (***), p<0,001 (**), p<0,05 (*) y p>0,05 (ns).

Efecto	PB	M	FAD	FND	AG	EM	VRF
FECHA	***	***	***	***	***	***	***
CULT	***	***	**	***	***	***	***
ASOC	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
FECHA*CULT	ns	***	*	**	ns	ns	**
FECHA*ASOC	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
CULT*ASOC	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
FECHA*CULT*ASOC	ns	*	ns	ns	*	ns	ns

Figura 5. Concentración de proteína del forraje según el tipo de cereal (p-valor < 0,0001). Letras diferentes indican valores diferentes (test de mínimos cuadrados). Cebada-Z es cebada híbrida.

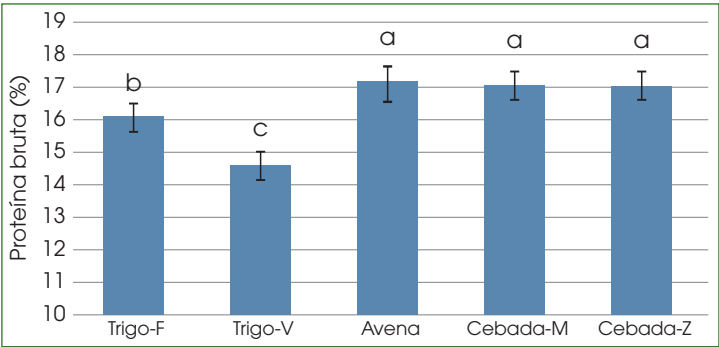


Figura 6. Concentración de proteína del forraje según el tipo de asociación del cereal con: haba (HABA), guisante (GUIS), trébol balanza (TB), trébol violeta (TV) y veza (VE) o no asociado (No).

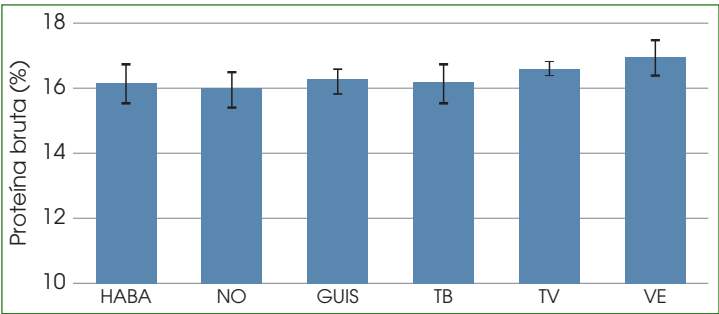
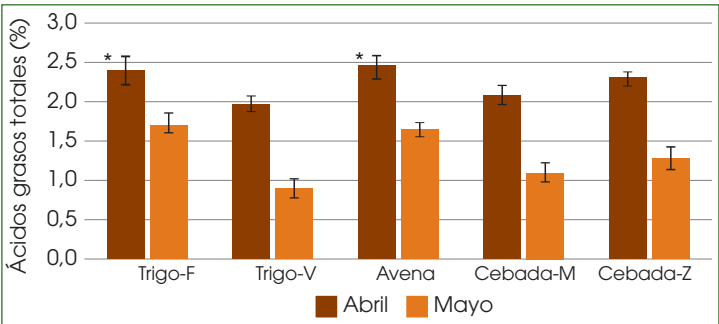


Figura 7. Concentración de ácidos grasos totales del forraje según el tipo de cereal y la fecha de corte. Cebada-Z es cebada híbrida. Por fecha y cultivo<0,0001 (*).



miento (Figura 5). Aunque no ha habido un efecto significativo de la asociación ($p = 0,2085$), la mezcla con veza tiende a incrementar la proteína de los forrajes (Figura 6). De esta forma, los cereales presentan un 16 % de PB sin leguminosa y un 16,9 % con asociación de veza. Como se esperaba, la PB fue significativamente mayor en el mes de abril (18,4 %) que en mayo al considerar todos los cultivos con cereales (14,5 %). Las concentraciones más altas en abril se encontraron con la cebada híbrida (19,1 %), avena (19 %) y cebada convencional (18,6 %). Las leguminosas (haba, guisante y veza) presentaron concentraciones de PB igual o superiores al 20 %, (datos no mostrados), pero su producción fue mucho menor.

En general, los parámetros relacionados con la fibra se vieron afectados tanto por la fecha de aprovechamiento como por el cultivo de cereal, así como su interacción, pero no por la asociación con leguminosa (Tabla 3). La fibra se incrementa en el aprovechamiento más tardío, siendo el trigo de ciclo largo y la avena los cultivos que presentaron menos fibra ácido o neutro detergente. El almidón también se incrementó en el aprovechamiento de mayo respecto al de abril. Las cebadas, particularmente la híbrida, tuvieron las concentraciones más altas de almidón. Es interesante destacar cómo el contenido de ácidos grasos totales (AG) e insaturados (oleico, linoleico y linolénico), dependen mucho del forraje y esto se puede transferir al perfil de ácidos grasos y calidad de la leche. Los AG y los poliinsaturados fueron significativamente más altos en el aprovechamiento de abril, 2,24 %, 0,59 % linolénico y 0,31 % linoleico, que en mayo con valores respectivos de 1,33 %, 0,27 % y 0,25 %. La Figura 7 muestra los AG como ejemplo. Estos valores han sido, por lo general, significativamente más altos con el trigo de invierno y la avena, en las asociaciones con veza, y más bajos en las asociaciones con haba. Los forrajes con Valor Relativo del Forraje más alto han sido el trigo de invierno y la avena, determinado por su menor contenido en fibras.

A partir de la producción de MS y del % PB se ha calculado la producción de proteína que se puede obtener con los diferentes cultivos forrajeros evaluados. Los resultados indican que la cebada y la cebada híbrida son los cultivos que mayor cantidad de proteína han aportado al ensayo (1.398 y 1.376 kg PB/ha), tal y como se muestra en la Figura 8.

La producción de proteína sería, en general, más alta en abril que en mayo. Además, las asociaciones (1.158-1.223 kg PB/ha), particularmente con veza, tienden a producir más proteína que los cereales solos (1.156 kg PB/ha) (Figura 9).

Contribución de las leguminosas al nitrógeno residual del suelo

No se encontraron diferencias significativas del contenido de nitrógeno mineral residual en el suelo en función del cultivo, que fue alto y bastante variable (Figura 11). Los valores de nitrógeno mineral en el suelo en los primeros 0-30 cm después del aprovechamiento de mayo oscilaron de 93 kg N/ha tras el cultivo asociado de trigo y haba, hasta los 141 kg N/ha dejados por el cultivo de veza. Los elevados contenidos de nitrógeno mineral inicial observados (210 kg N/ha de media), pese a su variabilidad, podrían haber favorecido la absorción de los cereales y limitado la captación de nitrógeno atmosférico por las leguminosas. Se deben considerar estas cantidades de nitrógeno mineral residual como significativas y que deben contribuir a la nutrición de las siembras de verano.

Figura 8. Producción de proteína con forraje de invierno según el tipo de cereal y la fecha de corte. Cebada-Z es cebada híbrida.

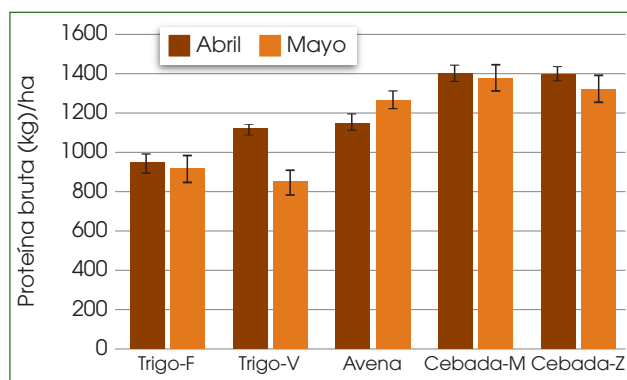


Figura 9. Producción de proteína del forraje según el tipo de asociación del cereal con: haba, guisante, trébol balanza, trébol violeta y veza o no asociado.

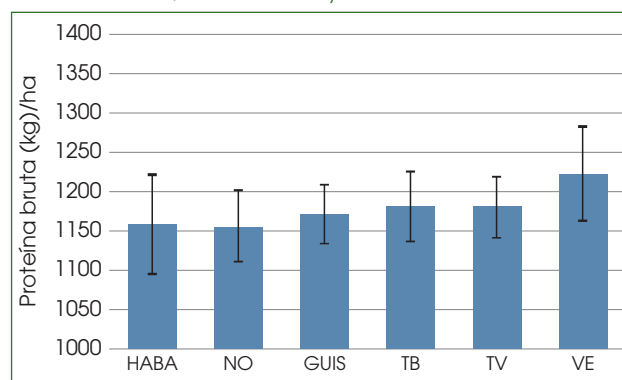


Figura 11. Contenido de nitrógeno mineral en el suelo (0-30 cm) después del segundo aprovechamiento en las parcelas de trigo (cv Valbona) y de leguminosas.

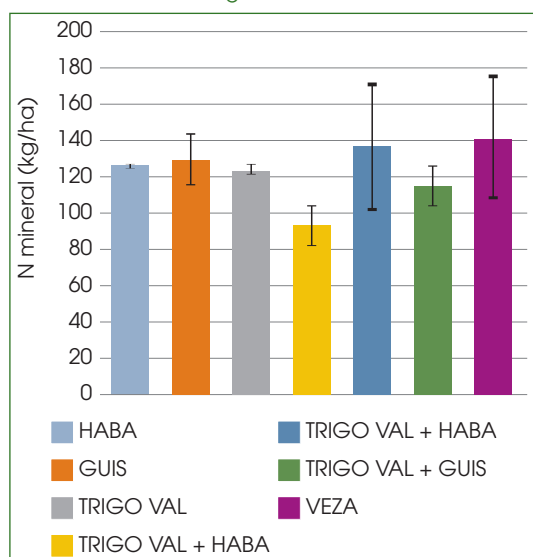


Figura 10. Detalle de la cebada convencional (cv Meseta) en el ensayo el 13-01-2023 (Foto: IRTA).



Suministro de proteína de los forrajes de invierno

Para evaluar la contribución de los forrajes de invierno del ensayo a la autonomía proteica de las explotaciones de vacuno de leche ecológicas se ha considerado sólo el aprovechamiento más precoz, es decir, cuando los cultivos forrajeros que se consideran en el análisis han tenido una concentración de PB del 17-19 %, dentro de un rango realista para una ración diaria de vacas en lactación. A partir de los resultados del ensayo, con el cultivo de trigo, con o sin leguminosa, el modelo de granja menos intensivo (M1) necesitaría entre 44 y 86 ha para cubrir la dieta anual de las vacas de lactación, para un rango de animales de 35 a 45 y de 16

a 20 % de PB de la dieta (Tabla 4 como ejemplo para 40 y 55 animales y 17 a 19 % PB). La superficie necesaria sería, en cambio, de entre 31 y 62 ha en caso de que el cereal forrajero fuera la cebada. Para la tipología de explotación de mayor tamaño (M2), la superficie requerida iría de 119 a 247 ha en el caso de producir trigo, y de 85 a 177 ha para la cebada. La cebada, de esta forma, reduce la superficie necesaria cerca de un 30 % respecto al trigo, si tomamos como referencia los resultados del ensayo. Considerando el número de vacas en lactación y la superficie de cultivo de dos explotaciones de vacuno que han colaborado en el proyecto, y asumiendo una productividad forrajera similar al

Tabla 4. Superficie (ha) necesaria para obtener la proteína anual de las vacas en lactación en función de la concentración en PB (%) de la dieta, la intensificación de la explotación y el forraje de invierno a partir de los resultados de la prueba de campo.

M1 (explotación pequeña) y M2 (explotación mediana-grande).

PB %	M1 (21,5 kg MS/día y vaca lactación)				M2 (22,5 kg MS/día y vaca lactación)			
	PB kg/año	vacas lactación	ha cebada	ha trigo	PB kg/año	vacas lactación	ha cebada	ha trigo
17 %	53.363	40	38	53	140.233	100	100	140
18 %	56.502	40	40	57	148.482	100	106	148
19 %	59.641	40	43	60	156.731	100	112	157
17 %	73.374	55	52	73	210.350	150	150	210
18 %	77.690	55	55	78	222.723	150	159	223
19 %	82.006	55	59	82	235.097	150	168	235



ensayo, constatamos que los cultivos forrajeros de invierno suplirían entre el 63 y el 72 % las necesidades de proteína anuales de las vacas en lactación. La autonomía proteica de estas explotaciones se incrementaría considerando alternativas de verano con contenidos de proteína más altos que el maíz y con un mejor establecimiento de las leguminosas en las asociaciones forrajeras de invierno.

Conclusiones

Las alternativas forrajeras que más proteína han producido son las que llevan cebada y se aprovechan en el estadio más precoz, en torno a floración.

La asociación de cereales con leguminosas puede ser una interesante opción para mejorar la proteína. Sin embargo, el efecto de las asociaciones en el estudio ha sido limitado, probablemente debido a un contenido muy alto de nitrógeno disponible para los cereales que habría favorecido su desarrollo en relación a la leguminosa, la cual tuvo muy poca implantación.

Los resultados del estudio han indicado la importancia del forraje de invierno para reducir la dependencia de la compra de proteína ecológica como la soja y abaratar los costes de producción de la leche (y carne).

Estos cultivos pueden llegar a suplir en torno a un 60-70 % de las necesidades de proteína anuales para vacas en lactación.

La siembra de cultivos forrajeros de verano con contenidos de proteína en torno a un 14-15 % puede tener una repercusión muy significativa en la consecución de la autonomía proteica de las explotaciones de vacuno de leche.

Referencias

- Abascal, J., 2020. Estudio de la viabilidad económica de producir y envasar leche ecológica en una explotación ganadera. Trabajo fin de Grado. Grado de Administración y Dirección de Empresas. Universidad de Cantabria.
- Bacchi, M., Monti, M., Calvi, A., Lo Presti, E., Pellicanò, A., Preiti, G. 2021. Forage Potential of Cereal/Legume Intercrops: Agronomic Performances, Yield, Quality Forage and LER in Two Harvesting Times in a Mediterranean Environment. *Agronomy*, 11(1), 121.
- Bedoussac, L., Journet, E.P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E.S., Prieur, L. and Justes, E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for sustainable*
- Casasnovas-Oliva, V.L., Aldanondo-Ochoa, A.M., 2014. Feed prices and production costs on Spanish dairy farms. *Span. J. Agric. Res.* 12 (2), 291-304.
- CCPAE, 2023. Recull d'estadístiques del sector ecològic a Catalunya 2000-2022. Consell Català de la Producció Agrària Ecològica. www.ccpae.org/docs/estadistiques/2022/00_2022_ccpae_recull-estadistiques.pdf.
- Confalone, A., Bande-Castro, M. J., Ruíz-Nogueira, B., & Sau, F., 2011. Componentes del rendimiento en leguminosas de grano con posibilidades de ser utilizadas como forraje invernal en Galicia. *Pastos*, 36(2), 177-192
- Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (DARP), 2018. Principals requisits i recomanacions per a la conversió de granges de bestiar herbívor a producció ecològica. *Fitxa Tècnica PAE Núm 01*, 1-6.
- Sineiro, F., Seoane, L., Calcedo, V., 2016. La gestión de las explotaciones de leche en la nueva situación sin cuotas. *Afriga* 125, 112-128.

NEWSLETTER
Semanal
CONAFE
SUSCRÍBETE