

# Potencial agronómico y ambiental de las mezclas forrajeras

Agronomic and environmental potential of forage mixtures

R. LLURBA<sup>1</sup> / A. RIBAS<sup>1,2</sup> / N. ALTIMIR<sup>1</sup> / C. BOUBEKEUR<sup>1</sup> / F. GOURIVEAU<sup>1</sup> / J. PLAIXATS<sup>2</sup> / D. VENTURA<sup>1</sup> / J. CONNOLLY<sup>3</sup> / M.T. SEBASTIÀ<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Centre Tecnològic Forestal de Catalunya

<sup>2</sup> BABVE, Universitat Autònoma de Barcelona

<sup>3</sup>UCD, University College Dublin, School of Mathematical Sciences

<sup>4</sup> ETSEA-Universitat de Lleida. [rosa.llurba@ctfc.cat](mailto:rosa.llurba@ctfc.cat)

**Resumen:** Con el objetivo de evaluar el potencial agronómico y ambiental del uso de cubiertas forrajeras mixtas, se estableció un experimento en el que se manipuló la diversidad vegetal de cubiertas forrajeras, incluyendo monocultivos y mezclas de tres especies forrajeras: una gramínea (*Festuca arundinacea*), una leguminosa (*Medicago sativa*) y una forbia (*Cichorium intybus*). A lo largo de tres años de desarrollo de las cubiertas se recogieron datos de productividad, calidad forrajera, nitrógeno (N) exportado por la vegetación y N perdido por lixiviación, obteniéndose modelos de estas respuestas en función de la composición y diversidad cultivada. Se detectó un efecto de la diversidad en todas las funciones estudiadas que provocó un incremento de la productividad, de la cantidad de proteína en el forraje (%) y del N exportado por la vegetación. Por otro lado, la diversidad provocó una reducción de la lixiviación en las cubiertas mixtas.

**Palabras clave:** diversidad, producción, calidad forrajera, lixiviación, chicoria.

**Abstract:** A diversity experiment was established in order to assess the agronomic and environmental potential of mixed forage swards. Monocultures and a range of 3-species mixtures containing a grass (*Festuca arundinacea*), a legume (*Medicago sativa*) and a forb (*Cichorium intybus*), were sown and the following variables were studied: yield, forage quality, N exported by the aboveground biomass, soil N, N leaching, and N<sub>2</sub>O emission. Diversity was found to affect all of these variables, enhancing productivity and protein content (%), increasing exported N by the vegetation (%), modulating the nitrate-N in the soil profile and N<sub>2</sub>O emission and decreasing N leaching (ammonium). We conclude that increasing diversity in forage swards may result in reduced N losses to the environment with increased agronomic potential.

**Key words:** diversity, productivity, forage quality, leaching, chicory.

## INTRODUCCIÓN

En el contexto del cambio global y el escenario energético presentes, es esencial el desarrollo de estrategias productivas que permitan mantener la función de provisión de los agroecosistemas (en cantidad y calidad), reducir las necesidades de N exógeno así como sus pérdidas por lixiviación y emisión (Erisman *et al.*, 2011). Estudios desarrollados en las últimas décadas han demostrado que el incremento de la diversidad lleva asociado un incremento de varias funciones ecosistémicas (Hooper *et al.*, 2005; Eisenhauer *et al.*, 2011), sin embargo su uso en sistemas agrícolas continúa siendo limitado (Nyfeler *et al.*, 2011). El desarrollo de sistemas de cultivo mixto precisa del estudio del uso de la diversidad en un contexto productivo con un enfoque multifuncional (Connolly *et al.*, 2009). Por otro lado, es necesaria la evaluación de estrategias de gestión que permitan mejorar la estabilidad de las cubiertas mixtas de gramíneas y leguminosas, como su composición en siembra o la inclusión de otros grupos funcionales (forbias o dicotiledóneas no leguminosas). La inclusión de forbias como

la chicoria (*Cichorium intybus*) en las mezclas de gramínea-leguminosa puede resultar interesante por la complementación en niveles de proteína en los momentos en que la proporción de leguminosa en la mezcla es más baja (Beleski *et al.*, 2001; Høgh-Jensen *et al.*, 2006). Además esta especie, de la que se tiene poca información a nivel peninsular, proporciona un elevado contenido en minerales (Beleski *et al.*, 2001; Høgh-Jensen *et al.*, 2006). Por otro lado, se ha detectado un efecto de la diversidad en el incremento de la eficiencia del uso del N, con un incremento de N capturado por la cubierta vegetal (Nyfeler *et al.*, 2011), y una reducción de pérdidas por lixiviación (Scherer-Lorenzen *et al.*, 2003). Con el objetivo de abordar estas cuestiones se estableció un experimento en el que se manipuló la diversidad de cubiertas forrajeras mixtas, para analizar su potencial agronómico y ambiental, y determinar el efecto de la diversidad sobre: 1) la productividad del forraje y su estabilidad a lo largo de tres años de desarrollo de la cubierta; 2) la calidad del forraje producido; 3) la eficiencia del uso del N, evaluando el N exportado por la vegetación y el N lixiviado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las cubiertas forrajeras experimentales se establecieron en abril de 2008, en una zona semi-árida de la Depresión Central Catalana, con 13.9 °C y 428.4 mm de temperatura y precipitación medias. Al desarrollarse el experimento durante la puesta en regadío de la zona (canal Segarra-Garrigues) se dieron irregularidades en el riego que produjeron episodios puntuales de déficit hídrico.

El tratamiento de diversidad incluía monocultivos y mezclas de 3 especies: una gramínea (*Festuca arundinacea*) y una leguminosa (*Medicago sativa*) ambas de amplio uso en la península, y una forbia (*Cichorium intybus*), común en Australia o EEUU pero poco utilizada en la península pese a su origen mediterráneo. La composición de las cubiertas sembradas siguió un diseño simplex (Kirwan *et al.*, 2009), incluyendo los tres monocultivos, tres mezclas dominadas por cada una de las tres especies (80% en siembra) y una mezcla centroide, con una proporción equitativa de cada componente. Este diseño se duplicó a dos densidades de siembra, escogidas de acuerdo con las dosis aplicadas en la zona y con la densidad baja conteniendo un 60% de la alta, y se triplicó (para posteriores tratamientos de fertilización) dando un total de 42 parcelas de 12 × 12 m<sup>2</sup> totalmente aleatorizadas.

En este trabajo se recoge el comportamiento de las cubiertas forrajeras en el período 2008-2010 evaluado a lo largo de los cortes realizados: dos en el año de establecimiento y cuatro en cada uno de los dos años siguientes. Para cada parcela experimental y cada corte se determinó: 1) la producción total en 9,4 m<sup>2</sup>; 2) el porcentaje de materia seca (secado a 60° C) y su contenido de N, a partir de una submuestra del forraje pesado; y 3) la composición botánica a partir de una muestra de 0,5 × 0,5 m<sup>2</sup>. En tres de los cortes (otoño en 2009 y primavera y otoño en 2010) se utilizó una submuestra del forraje producido para el análisis de su contenido en proteína bruta y minerales, siguiendo la metodología de AOAC (2005).

Para el seguimiento de la solución lixiviada se instalaron lisímetros que consistían en depósitos de 1 m<sup>3</sup>, enterrados en cada parcela y dotados de tres capas de grava y arena de distintas granulometrías y de un colector. En 2010, el lixiviado que drenó a través del bloque de suelo durante el período de desarrollo vegetativo se recogió periódicamente para su cuantificación y se obtuvo una muestra acumulada para el análisis de su contenido de nitrógeno inorgánico (formas nítrica y amoniacal).

Las distintas variables dependientes estudiadas se modelaron (GLM, SAS) como una función lineal [1] de la densidad de siembra (M), las proporciones de las 3 especies (P<sub>i</sub>) y las tres interacciones dos a dos de las especies incluidas (P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>).

$$y = \alpha M - \sum_i \beta_i P_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} P_i P_j \quad [1]$$

Alternativamente, las tres interacciones pueden agruparse en un único término que corresponde al efecto global de la diversidad (Kirwan *et al.*, 2009). Este diseño permite la separación de los efectos identidad, es decir, de los valores esperados según la contribución relativa de cada especie, del efecto de la diversidad que conduce a valores superiores (o inferiores) de los esperados. Para las variables estudiadas como medidas repetidas a lo largo de los 3 años (productividad y contenido de N en %), este modelo se extendió para evaluar si el efecto de la diversidad persistía (MIXED, SAS). Las proporciones de las especies pueden corresponder a las iniciales (de siembra) o a las alcanzadas en un momento dado, en función de las variables estudiadas y el enfoque de las preguntas. La producción se modelizó en función de las proporciones iniciales, dando respuesta al efecto histórico o acumulado de la diversidad sembrada. Para el resto de variables, en cambio, se utilizaron las proporciones existentes. Como la densidad no mostró efectos significativos, los resultados que siguen surgen de la estimación para un densidad media entre las dos utilizadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción y estabilidad

La producción total acumulada entre 2008 y 2010 (10 cortes) fue superior en las mezclas que en los monocultivos, debido al efecto de la diversidad sembrada (P<0,0001), que en términos globales (3 años) incrementó en un 49.3% la biomasa en la mezcla centroide respecto al promedio de los tres monocultivos. A partir del primer corte, el efecto de la diversidad sembrada se mantuvo positivo y significativo (P<0,05), incrementando la producción por encima de los valores de la producción media de los monocultivos (fig. 1). Este efecto se mantuvo incluso después de un episodio de déficit hídrico que produjo un descenso notable en la producción (fig. 1).

La composición de la cubierta vegetal varió a lo largo de los cortes, dándose un relevo en la contribución de las distintas especies e interacciones en la producción total

obtenida, que puede ser clave en la estabilidad productiva. Aunque la chicoria mostró una proporción en la biomasa aérea muy elevada en el primer año, la proporción de esta especie se vio muy reducida a lo largo de los tres años de desarrollo de la cubierta, como se ha encontrado en otros trabajos (Belesky *et al.*, 2001), mostrando un desarrollo muy elevado en post-establecimiento pero cayendo del 44 % (inicio 2009) al 1 % (finales de 2010).

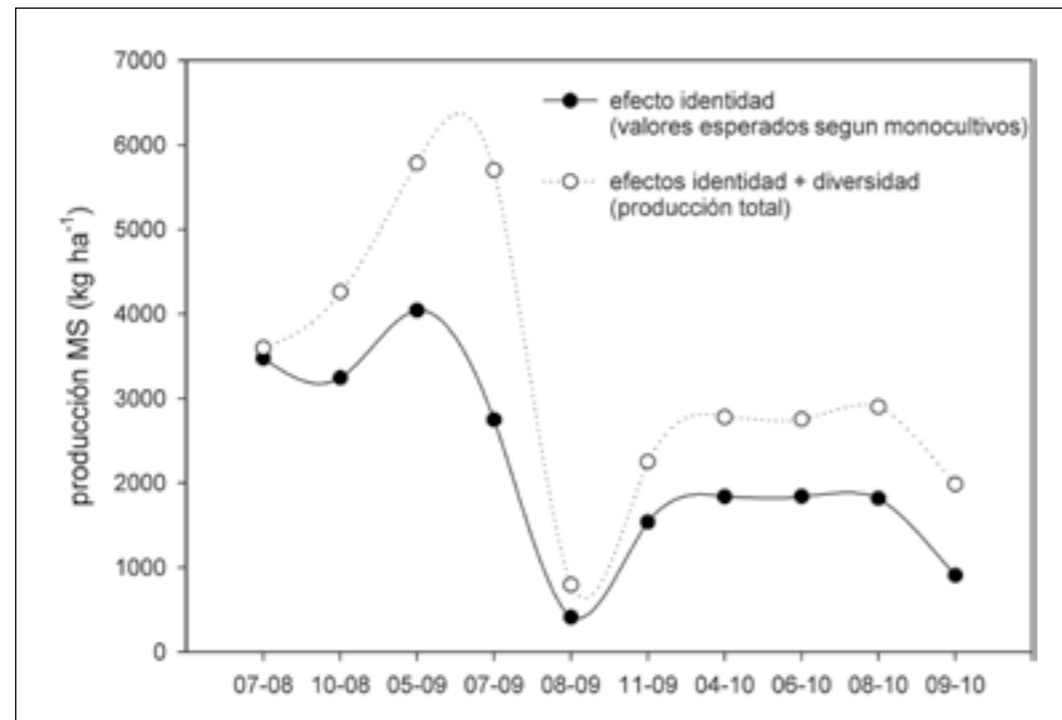


Figura 1. Valores estimados de producción (en 10 cortes), según la contribución relativa de cada especie (efecto identidad) e incluyendo el efecto diversidad (MS:materia seca).

### Calidad forrajera: proteína bruta y minerales

Las variables de calidad forrajera se modelizaron en función de las proporciones existentes en el corte analizado, de manera que los coeficientes asignados a las proporciones (efectos identidad) corresponden a la concentración de proteína y minerales de los monocultivos en el momento de análisis, mientras que los coeficientes de las interacciones indican el incremento o decremento relativo de la mezcla debido a la interacción interespecífica. Los valores esperados de proteína bruta (%) difirieron para las tres especies sembradas con un aporte de proteína superior en monocultivos de alfalfa (fig. 2, izquierda). Por otro lado, mientras que para el corte primaveral no se detectó un efecto significativo de la diversidad, en los cortes de otoño estudiados éste fue significativo ( $P = 0,021$ ) y condujo a valores de proteína (%) en las mezclas superiores a los

esperados según la contribución relativa de las 3 especies, es decir, superiores a la media de los monocultivos, y similares al monocultivo de leguminosa (fig. 2, izquierda).

Respecto al contenido en minerales del forraje, la chicoria mostró un valor muy superior al proporcionado por las otras dos especies (fig. 2, derecha), coincidiendo con los resultados de Belesky *et al.* (2001). Sin embargo, en primavera éste se vio considerablemente reducido en las mezclas (fig. 2, derecha), debido al efecto diversidad ( $P = 0,0075$ ). Una de las posibles causas de tal reducción podría derivar del efecto de “dilución” de los minerales absorbidos provocado por un aumento de producción (Belesky *et al.*, 2001).

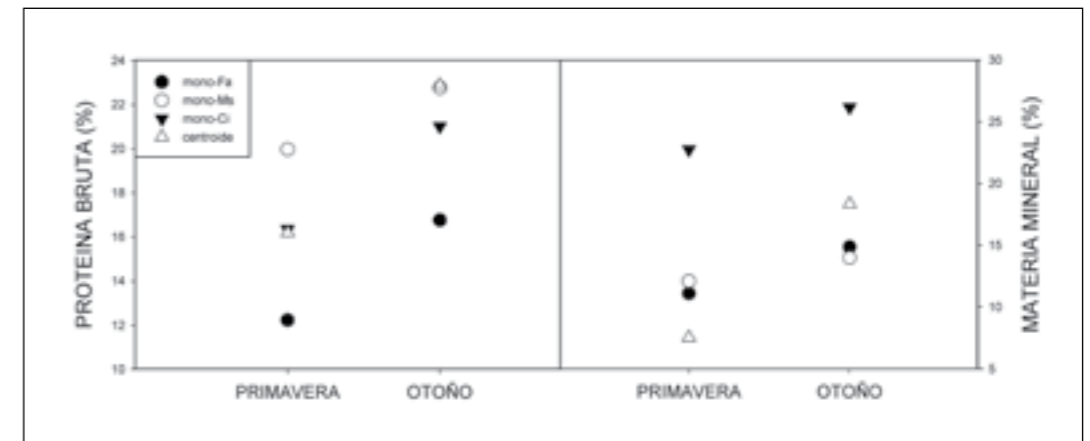


Figura 2. Valores estimados de proteína bruta (% / MS) (izquierda) y materia mineral (% / MS) (derecha), para las distintas cubiertas vegetales.

### Nitrógeno en la biomasa aérea, N exportado y pérdidas de N por lixiviación

De forma paralela al contenido de proteína, la diversidad (utilizando en el modelo las proporciones existentes) tuvo un efecto positivo en el contenido de N en la biomasa aérea (%) a lo largo de los tres años de estudio ( $P = 0,0067$ ), debido a la interacción de la leguminosa con las otras dos especies. Por otro lado, el N exportado por la vegetación en cada corte ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ), modelizado también en función de las proporciones existentes, incrementó con la diversidad, debido a la interacción entre las no-leguminosas ( $P=0,0245$ , figura 3 izquierda) que actuaron como sumideros de N; este efecto fue muy significativo en los dos primeros años de desarrollo ( $P = 0,0022$ ), antes del descenso drástico de la proporción de chicoria.

Resulta interesante destacar que la lixiviación de N-amoniaco en el tercer año mostró una respuesta negativa y significativa a la interacción entre las no-leguminosas existente en el segundo año. Esta relación sugiere que el efecto positivo que la interacción entre no-leguminosas ejerció en la exportación de N puede estar relacionada con una menor pérdida por lixiviación en el último año, probablemente a través de la

complementariedad en la absorción de N entre las no-leguminosas. La estabilidad en la proporción de chicoria en las mezclas puede ser clave en el secuestro de N inorgánico y la reducción de lixiviación. La concentración de nitrato lixiviado no mostró una respuesta significativa a la diversidad, pudiendo haber influenciado el límite de detección utilizado y el hecho de que no se aplicó fertilizante.

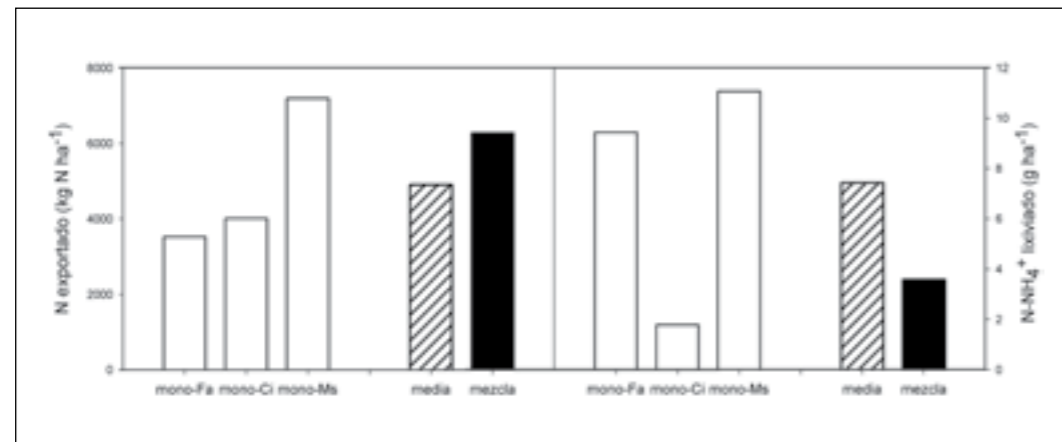


Figura 3. Valores estimados de N exportado en tres años (izquierda) y N-amoniaco lixiviado en 2010, para los monocultivos de festuca, chicoria y alfalfa (mono-Fa, -Ci y -Ms respectivamente) y la mezcla centroide sin incluir el efecto de la diversidad (media) e incluyendo este efecto (mezcla).

## CONCLUSIONES

Un modesto aumento de la diversidad en cubiertas forrajeras afectó todas las variables estudiadas, subrayando el elevado potencial agronómico y ambiental de las cubiertas mixtas. La inclusión de leguminosas en las mezclas resultó clave como fuente de N, incrementando el contenido proteico del forraje producido. En cambio, la interacción entre no-leguminosas parece estar implicado en el incremento de N exportado por la biomasa aérea así como en la reducción de la lixiviación de N amoniacal.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Faustina Torri, Josep Bobet y Josep Ripoll. Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del MMA (proyecto OPS), MICINN (proyecto CARBOAGROPAS), Interreg IV-A (proyecto FLUXPYR) y del DAR.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemist, 18<sup>th</sup> AOAC International, Gaithersburg, MD.

- BELESKY D.P., TURNER K.E., FEDDERS, J.M. Y RUCKLE, J.M. (2001) Mineral composition of swards containing forage chicory. *Agronomy Journal*, **93**, 468-475.
- CONOLLY J., FINN J., BLACK A.D., KIRWAN L., BROPHY C. Y LÜSCHER A. (2009) Effects of multi-species swards on dry matter production and the incidence of unsown species at the three Irish sites. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, **48**, 243-260.
- EISENHAUER N., MILCU A., SABAI S.A.C.W., BESSLER H., BRENNER J., ENGELS C., KLARNER B., MARAUN M., PARTSCH S., ROSCHER C., SCHONERT F., TEMPERTON V.M., THOMISCH K., WEIGELT A., WEISSER W.W. Y SCHEU S. (2011) Plant diversity surpasses plant functional groups and plant productivity as driver of soil biota in the long term. *PLoS ONE*, **6**(1).
- ERISMAN J.W., GALLOWAY J., SEITZINGER S, BLEEKER A.Y BUTTERBACH-BAHL K. (2011) Reactive nitrogen in the environment and its effect on climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **3**(5), 281-290.
- HØGH-JENSEN H., NIELSEN B. Y THAMSBORG, S.M. (2006) Productivity and quality, competition and facilitation of chicory in ryegrass/legume-based pastures under various nitrogen supply levels. *European Journal of Agronomy*, **24**, 247-256.
- HOOPER D.U., CHAPIN F.S., EWEL J.J., HECTOR A., INCHAUSTI P., LAVOREL S., LAWTON J.H., LODGE D.M., LOREAU M., NAEEM S., SCHMIDT B., SETALA H., SYMSTAD A.J., VANDERMEER J. Y WARDLE D.A. (2005) The effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, **75**, 3-35.
- KIRWAN L., CONNOLLY J., FINN J.A., BROPHY C., LÜSCHER A., NYFELER D. Y SEBASTIÀ, M.T. (2009) Diversity-interaction modelling - estimating contributions of species identities and interactions to ecosystem function. *Ecology*, **90**, 2032-2038
- NYFELER D., HUGUENIN-ELIE O., SUTER M., FROSSARD E. Y LÜSCHER A. (2011) Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **140**, 155-163.
- SCHERER-LORENZEN M., PALMBORG C., PRINZ A. Y SCHULZE, E. (2003) The role of plant diversity and composition for nitrate leaching in grasslands. *Ecology*, **84**, 1539-1552.