

# EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA DINÁMICA DEL NITRÓGENO EN CULTIVOS FORRAJEROS DE INVIERNO EN CANTABRIA

EVALUATION OF YIELD AND NITROGEN DYNAMICS IN WINTER FORAGE CROPS IN CANTABRIA

R. ORTIZ-GONZÁLEZ<sup>1</sup>, G. SALCEDO<sup>2</sup> Y J. DOLTRA<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>CIFA. Dirección Gral. Desarrollo Rural. Gobierno de Cantabria. Héroes 2 de mayo 27, 39600 Muriedas, Cantabria. [rebecaortiz@cifacantabria.org](mailto:rebecaortiz@cifacantabria.org) y [jordidoltra@cifacantabria.org](mailto:jordidoltra@cifacantabria.org). <sup>2</sup>Dpto. de Calidad e Innovación. Centro Integrado de Formación Profesional “La Granja”, 39792 Heras, Cantabria, España. [salcedogregorio@live.com](mailto:salcedogregorio@live.com).

## RESUMEN

La mitigación del impacto ambiental asociado a la pérdida de nitrógeno (N) de los sistemas agro-ganaderos pasa por diseñar sistemas de cultivo con mejor eficiencia en el uso del N que incidan favorablemente en la producción de forrajes y en la sostenibilidad de las explotaciones. En este sentido, en Cantabria se están investigando la productividad y la dinámica de N de cultivos forrajeros de invierno, cereales, leguminosas y raigrás italiano, que puedan ser utilizados en rotación con maíz, en un ensayo iniciado en 2012 en un suelo con textura franco-arcillosa. Mientras todos los cultivos recibieron una aplicación de purín antes de la siembra, los cereales y el raigrás recibieron dos aplicaciones adicionales de N en forma de fertilizante mineral durante el invierno. En el primer año la lixiviación de nitratos desde la siembra hasta la cosecha de los cultivos de invierno y el N residual del suelo no mostraron diferencias significativas entre cultivos. La producción más baja del primer ciclo de cultivo de invierno se obtuvo con los tréboles. La mayor producción de materia seca y de N se obtuvo con la cebada y el haba respectivamente, aunque las diferencias no fueron significativas con los otros cereales ensayados.

**Palabras clave:** cereales, leguminosas, lixiviación, sostenibilidad, fertilización.

## SUMMARY

Environmental impacts associated with nitrogen (N) losses from mixed crop-livestock systems could be reduced and farm profitability increased with cropping systems resulting in better N use efficiency and increasing crop productivity. The contribution to this purpose of maize cropping systems based in legumes, cereals and ryegrass as winter crops is being investigated in Cantabria on a clay loam soil in terms of forage dry matter (DM) and N dynamics. Cattle slurry in autumn, before sowing, was applied to all winter crops while cereals and ryegrass received two additional applications of mineral N fertilizer in winter. Nitrate leaching from sowing to harvest of the winter crop and residual soil N did not significantly differ among cropping systems during the first year of the study. The lowest productivity was found with the pure clover stands. The first year, higher DM and N yield was obtained with barley and faba bean, respectively, although the differences were not significant with the other crops.

**Key words:** cereals, legumes, leaching, sustainability, fertilization.

## INTRODUCCIÓN

La introducción de leguminosas en rotaciones de cultivos con cereales ofrece la oportunidad de introducir en el sistema nitrógeno de fijación biológica, y en consecuencia, reducir el consumo de fertilizantes nitrogenados en la misma (Hauggaard–Nielsen *et al.*, 2010). El uso de leguminosas puede aumentar el nitrógeno residual disponible para el cultivo siguiente (Thorsted *et al.*, 2006), mejorar la productividad (Hauggaard–Nielsen *et al.*, 2010), y, a más largo plazo, incrementar la fertilidad del suelo contribuyendo a la mejora del rendimiento productivo de las rotaciones de cultivo (Thorsted *et al.*, 2006), por lo que sería interesante una evaluación de la rotación completa.

Con el objetivo de mejorar la sostenibilidad productiva y ambiental de la producción de forrajes en relación con el N en sistemas agro-ganaderos de la Cornisa Cantábrica se están evaluando diferentes alternativas forrajeras de invierno en monocultivo y en rotación anual con maíz como cultivo de primavera-verano. El presente trabajo recoge los resultados obtenidos con raigrás italiano, cereales (avena, cebada y triticale) y leguminosas (trébol encarnado, trébol violeta y haba forrajera) durante el primer ciclo de cultivo de invierno.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca del I.E.S. “La Granja”, en Heras (43° 24' N, 3° 45' W), Cantabria, de octubre de 2012 a abril de 2013, en un suelo de textura franco-arcillosa, con 1,53 % de materia orgánica oxidable, 0,16 % de N total, 4,3 ppm de fósforo, 149,8 ppm de potasio, relación C/N de 5,4, C.I.C de 13,9 meq/100gr y pH de 6,2 en el horizonte superficial (0-20 cm). Los cultivos forrajeros de invierno evaluados en el ciclo 2012-2013 fueron el raigrás italiano (*Lolium multiflorum* Lam. cv Agraco), la avena (*Avena sativa* L. cv Prevision), la cebada (*Hordeum vulgare* L. cv Cara) y el triticale (x *Triticosecale* cv Amarillo) como cereales; y el haba forrajera (*Vicia faba* L. cv Prothobom), el trébol encarnado (*Trifolium incarnatum* L. cv Kardinal) y el trébol violeta (*Trifolium pratense* L. cv Violeta), como leguminosas. El diseño experimental fue de bloques al azar (tres bloques y una repetición en cada uno) y las parcelas elementales de 29 m x 7,5 m.

La preparación del terreno consistió en pases cruzados de grada de discos. La fertilización de sementera se realizó con purín de vacuno lechero a dosis de 43 kg N ha<sup>-1</sup>, aplicado con cuba convencional y enterrado el mismo día con fresadora. La siembra de los cereales (225 kg ha<sup>-1</sup>) y el raigrás (40 kg ha<sup>-1</sup>) tuvo lugar con sembradora a chorrillo, la del trébol (25 kg ha<sup>-1</sup>) a voleo y la del haba

(200 kg ha<sup>-1</sup>) a mano, todas ellas el 24 de octubre de 2012, pasándose a continuación un rodillo dentado. El cultivo anterior fue maíz para ensilado. Los días 29 de enero (final ahijado-inicio encañado) y 1 de marzo (final encañado) se aplicaron 37,2 kg de N ha<sup>-1</sup> a los cereales y 25 kg de N ha<sup>-1</sup> al raigrás en forma de nitrato amónico cálcico, mientras que las leguminosas no recibieron fertilización mineral. Se cosechó el 24 de abril en los estadios de inicio del espigado para cebada, triticale y raigrás e hinchado de panículas para la avena, estando el trébol violeta en estado hojoso, el encarnado al inicio de la floración y el haba al 20% de grano.

Previamente a la siembra y en el momento de la cosecha se tomaron muestras de suelo en cada parcela elemental a las profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm, en las que se determinaron la humedad gravimétrica y la concentración de nitrato y amonio, éstas últimas por absorción atómica, en el laboratorio agrario del CIFA. La humedad volumétrica del suelo se monitorizó a 20, 40 y 60 cm mediante nueve sondas de humedad, tres por bloque (una a cada profundidad), EC-5 (Decagon Devices, USA) instaladas en la parcela central de cada bloque y conectadas a tres datalogger Em-5b (Decagon Devices, USA), uno por bloque, para el registro horario de la humedad durante el periodo de cultivo y se calcularon los valores medios de ésta para cada profun-

dididad de la parcela experimental. Se instalaron seis sondas de succión SK-20 (UMS, Alemania) a una profundidad de unos 55-60 cm en las parcelas elementales de cereales y leguminosas del bloque central para la extracción de la solución de suelo, que se realizó aproximadamente cada quince días, y se determinaron las concentraciones de nitrato mediante el reflectómetro portátil Nitra-check 404.

Para la determinación del drenaje (D) y la lixiviación de nitratos se dividió el periodo total de cultivo en subperiodos. El primero se extendió desde la fecha de siembra hasta el 10 de enero, cuando se midieron por primera vez los nitratos de la solución del suelo. El resto tuvo una duración aproximada de quince días, según la frecuencia de muestreo de los mismos. La lixiviación a 55 cm de profundidad se determinó como la suma del producto del drenaje a esa profundidad por la concentración media de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) de la solución del suelo en cada uno de los subperiodos. El drenaje se calculó mediante el balance de agua según la ecuación:

$$\text{Drenaje} = \text{Lluvia} - \text{Evapotranspiración} - \text{Variación de humedad en el suelo}$$

Para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ET<sub>c</sub>) se utilizó el método FAO (Allen et al., 1998), de coeficiente único (k<sub>c</sub>), que varía para cada especie en función de la etapa de desarrollo, y la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) diaria obtenida

con la ecuación de Penman-Monteith a partir de los datos climáticos obtenidos de la estación meteorológica de Parayas (AEMET) situada a unos 11 km de la finca experimental.

Para la determinación de la biomasa en cosecha se tomaron dos muestras de 0,25 m<sup>2</sup> en cada parcela elemental. Las muestras se pesaron en fresco en el laboratorio y se introdujeron en la estufa, donde permanecieron hasta secarse, a 62 °C durante 72 horas, determinándose la humedad y el contenido de N con el Kjeldahl Selecta Pro-nitro A.

El análisis estadístico se realizó ajustando los datos a un Modelo Lineal Univariante (SPSS 19.0) con el tipo de forraje (cereal o leguminosa) o el cultivo como factor fijo. El test post-hoc de Tukey sirvió para determinar la significación de las variables entre grupos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Balance de agua y dinámica del N mineral del suelo.

Hay que tener en cuenta que los datos obtenidos en el ensayo pertenecen a un año lluvioso (1000 mm de octubre a abril), en el que las lluvias de los meses de enero y febrero (207 y 194 mm respectivamente) doblaron la cantidad media registrada en los últimos 40 años, lo que pudo contribuir al retraso en el desarrollo de los cultivos, afectando a los datos de lixiviación de N y producción de MS.

El balance medio de agua fue el mismo en habas y cereales a lo largo de todo el ciclo de cultivo. La diferencia entre los valores de D y ET<sub>c</sub> de éstos y los de los tréboles estuvo determinada por el peor desarrollo de éstos últimos (Tabla 1).

Tabla 1: Valores de los componentes del balance de agua (mm) para cada grupo de cultivos por subperiodos.

| Periodo            | P<br>(mm)  | Cereales                |            | Habas                   |            | Tréboles                |            | $\Delta H$<br>55<br>cm |
|--------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|------------------------|
|                    |            | ET <sub>c</sub><br>(mm) | D<br>(mm)  | ET <sub>c</sub><br>(mm) | D<br>(mm)  | ET <sub>c</sub><br>(mm) | D<br>(mm)  |                        |
| 24/10 a 9/01/2013  | 244        | 37                      | 210        | 37                      | 210        | 30                      | 217        | -3                     |
| 10/01 a 21/01/2013 | 141        | 8                       | 78         | 8                       | 78         | 7                       | 79         | 55                     |
| 22/01 a 28/01/2013 | 59         | 11                      | 67         | 11                      | 67         | 9                       | 69         | -19                    |
| 01/02 a 17/02/2013 | 121        | 19                      | 134        | 19                      | 134        | 15                      | 138        | -32                    |
| 18/02 a 28/02/2013 | 73         | 16                      | 55         | 16                      | 55         | 12                      | 59         | 2                      |
| 01/03 a 14/03/2013 | 38         | 34                      | 7          | 34                      | 7          | 27                      | 14         | -3                     |
| 15/03 a 07/04/2013 | 104        | 61                      | 45         | 61                      | 45         | 53                      | 53         | -2                     |
| 08/04 a 17/04/2013 | 12         | 41                      | -22        | 41                      | -22        | 39                      | -20        | -7                     |
| <b>TOTAL</b>       | <b>792</b> | <b>227</b>              | <b>574</b> | <b>227</b>              | <b>574</b> | <b>192</b>              | <b>609</b> | <b>4</b>               |

P: precipitación; ET<sub>c</sub>: evapotranspiración del cultivo; D: drenaje;  $\Delta H$ : variación media de humedad en la parcela.

La primera etapa de desarrollo de los cultivos estuvo caracterizada por el dominio del D frente a la ET, situación que se invirtió a partir de marzo con la fase de mayor crecimiento de los forrajes (Tabla 1).

El nitrógeno nítrico (N-NO<sub>3</sub>) de la solución del suelo tuvo una dinámica diferente en cereales y leguminosas. En los muestreos previos a la primera fertilización mineral de los cereales se observaron diferencias significativas entre ambos grupos de plantas

posiblemente debidas a la fijación biológica de N de las leguminosas, que habría causado un notable incremento del N-NO<sub>3</sub> en la solución del suelo de éstas a mediados de enero (Figura 1).

En el total del periodo de cultivo, no hubo diferencias significativas entre la lixiviación media de N en las leguminosas (103 kg N/ha) y en los cereales (95 kg N/ha) (p<0,05) (datos no mostrados).

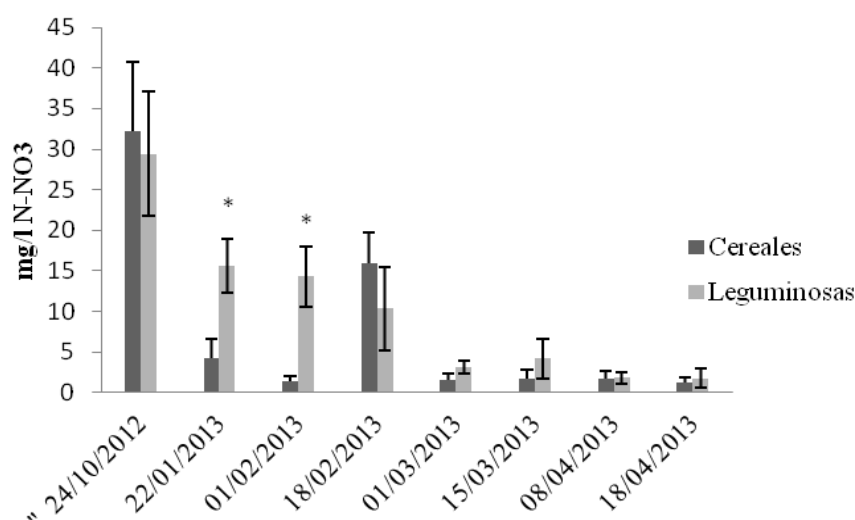


Figura 1: Concentración media de N-NO<sub>3</sub> (mg/l) a 55 cm en la solución del suelo en parcelas con cereales y leguminosas. \* Indica diferencias significativas (p ≤ 0,05, n=3) entre el tipo de cultivo en el análisis univariante realizado para cada fecha. Las barras indican el error estándar de la media.

El contenido de N mineral del suelo tras la cosecha no difirió de forma significativa entre los forrajes en cada una de las profundidades del suelo muestreadas (Figura 2). A pesar de ello los valores más altos se observaron en habas y los menores en raigrás, con una media de 51 kg N/ha y 27 kg N/ha, respectivamente, en el perfil de suelo de 0 a 60 cm.

Al relacionar el contenido de N mineral del suelo en la capa 0-20 cm, ocupado por las raíces de las plantas, con la materia seca (MS) producida por cada especie, sí se encontraron diferencias significativas entre las leguminosas (9,3 g N/kg MS), que tuvieron la relación media más alta, y el resto de cultivos (raigrás, 1,96 g N/kg MS, y cereales, 3,12 g N/kg MS).

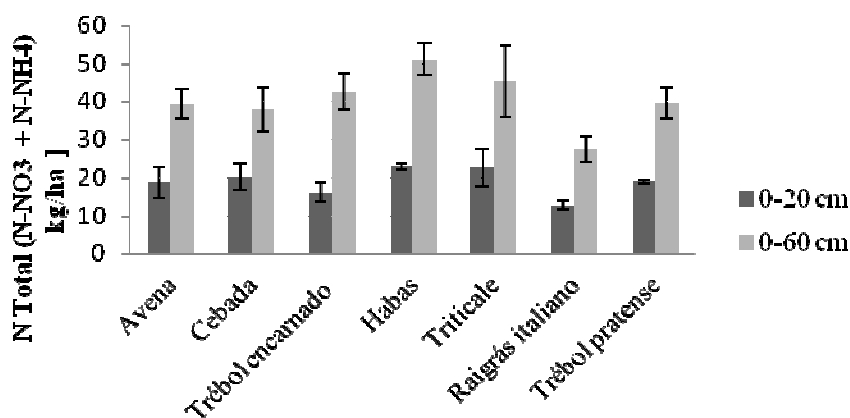


Figura 2: N mineral (N-NO<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub>) del suelo tras la cosecha de los forrajes. \* Indica diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ,  $n=6$ ) entre las especies en el análisis univariante de cada horizonte. Las barras indican el error estándar de la media.

### Producción

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre la producción de biomasa aérea de los tréboles y la del resto de cultivos (Tabla 2). El valor medio más alto correspondió a la cebada (7,8 t/ha), que aunque fue la alternativa forrajera que produjo más cantidad de MS, ésta no fue significativamente diferente a las producciones del raigrás italiano, el resto de cereales investigados y las habas. Éstas últimas tuvieron una producción más baja que la publicada en

otros estudios (Martínez *et al.*, 2005).

El contenido en N de la MS también fue significativamente diferente entre las especies. El porcentaje de N de la MS fue más alto en las leguminosas y la producción de N de las habas mostró diferencias con respecto al raigrás ( $p \leq 0,05$ ) (Tabla 2). Además, ésta se obtuvo sin aporte externo de fertilizante nitrogenado mineral, permitiendo reducir el consumo de fertilizantes nitrogenados en la rotación, coincidiendo con lo expuesto en otros estudios (Peoples *et al.*, 2009).

Tabla 2. Producción de materia seca (MS) y N, y %N sobre MS de forraje. Nivel significación: \*\*\*  $p \leq 0,001$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*  $p \leq 0,05$ , no significativo  $p > 0,05$ . Letras diferentes señalan medias diferentes según el Test de Tukey (prueba post hoc).

|           | Avena                  | Cebada              | Triticale              | Raigrás             | Habas             | T. incarnatum      | T. pratense       | Nivel sig. |
|-----------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------|
| MS (t/ha) | 5,3 <sup>b</sup>       | 7,8 <sup>b</sup>    | 6,9 <sup>b</sup>       | 6,5 <sup>b</sup>    | 5,8 <sup>b</sup>  | 2,4 <sup>a</sup>   | 1,1 <sup>a</sup>  | ***        |
| N (kg/ha) | 140 <sup>a, b, c</sup> | 171 <sup>b, c</sup> | 136 <sup>a, b, c</sup> | 106 <sup>a, b</sup> | 214 <sup>c</sup>  | 94 <sup>a, b</sup> | 44 <sup>a</sup>   | **         |
| % N       | 2,64 <sup>b</sup>      | 2,2 <sup>a, b</sup> | 1,97 <sup>a, b</sup>   | 1,63 <sup>a</sup>   | 3,63 <sup>c</sup> | 3,93 <sup>c</sup>  | 3,99 <sup>c</sup> | ***        |

## CONCLUSIONES

En el primer ciclo de cultivo de invierno de las rotaciones que se están ensayando, las alternativas forrajeras más interesantes en términos de productividad y aporte de N han sido la cebada y el haba respectivamente. Sin embargo, el potencial de estos cultivos para incrementar la producción de forraje o para sostener la producción con un menor aporte de N externo deberá ser evaluado considerando la rotación completa (cultivo de invierno-maíz).

## AGRADECIMIENTOS

INIA RTA2012-0065-C05-03, INIA (por concesión de beca FPI-INIA en 2012), AEMET.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D. Y SMITH M. (1998) *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia: Estudio FAO: Riego y Drenaje.

HAUGGAARD-NIELSEN H., HOLDENSEN L., WULFSOHN D. Y JENSEN E.S. (2010) Spatial variation of N<sub>2</sub> fixation in field pea (*Pisum sativum* L.) at the field scale determined by the N-15 natural abundance method. *Plant and Soil*, 327, 167–184.

MARTÍNEZ A., PEDROL N. Y PIÑEIRO J. (2005) Cultivares de haboncillo

(*Vicia faba* L.) y triticale (× *Triticosecale* Wittm.) para producción de forraje invernal en zonas húmedas con mezclas cereal-leguminosa. *Actas de la XLV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, p. 673-679.

PEOPLES M.B., HAUGGAARD-NIELSEN H. Y JENSEN E.S. (2009) The potential environmental benefits and risks derived from legumes in rotations. En: Emerich DW y Krishnan HB (Eds.) *Nitrogen fixation in crop production*. ASACSSA. Agronomy Monograph 52 pp 349–385. Madison, EEUU.

THORSTED M.D., OLESEN J.E. Y WEINER J. (2006) Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. *Field Crops Research*, 95, 280–290.

