

- JOY M. Y DELGADO I. (1989) Posibilidades forrajeras de los cereales de invierno en un secano árido. *ITEA*, **82**, 13-21.
- KALLENBACH R., MATCHES A. Y MAHAN J. (1996) Sainfoin regrowth declines as metabolic rate increases with temperature. *Crop Science*, **36**, 91-97.
- KOTSCHI J. Y MÜLLER-SÄMAN K. (2004) *The Role of Organic Agriculture in Mitigating Climate Change – A Scoping Study*. Bonn, Alemania: International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM).
- MANGADO J.M. Y EGUINO P. (2003) Asociaciones forrajeras cereal-leguminosa en cultivo ecológico en la Navarra húmeda. En: Robles A. B. *et al.* (Eds) *Pastos, desarrollo y conservación*, pp. 93-98. Granada, España: Junta de Andalucía.
- MARM (1979-2010) *Anuario de estadística agraria*. <http://www.marm.es/es/estadistica/>
- MARM (2001-2010) *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas de Aragón*. <http://www.aragon.es/portal/site/GobiernoAragon/menuitem.477320abc768cdc3871e10d354a051ca/>
- MONSERRAT P. (1956) *Los pastizales aragoneses. Avance sobre los pastos aragoneses y su mejora*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura.
- MONSERRAT P. (1974) Aprovechamiento óptimo de pastizales en secano. En: *Memoria del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura*, pp. 35-59. Murcia, España: CSIC.
- OLMOS G. (2006) *Valoración de la cebada en diferentes estados fenológicos como recurso forrajero para el ganado ovino en pastoreo en zonas áridas*. Tesis doctoral, 276 pp. Facultad de Veterinaria, Zaragoza, España.
- ORÚS F. (1975) *Resumen de resultados. Campos de ensayo de praderas en secano. Comarca del Alto Jiloca. Información Técnica nº 6*. Zaragoza, España: Ed. Centro Regional del Servicio de Extensión Agraria.
- OUVRY J.F., LE BISSONNAIS Y., MARTIN P., BRICARD O. Y SOUCHERE V. (2010) Grass covers as tools for reduction of soil losses by water erosion (a synthesis of knowledge and information gained in Upper Normandy). *Fourrages*, **202**, 103-110.
- PROSPERI J.M., DELGADO I. Y ANGEVAIN M. (1989) Prospección du genre *Medicago* en Espagne et au Portugal. *FAO/IBPGR Plant Genetic Resources Newsletter*, **78/79**, 5-9.
- SAYÉS J.J. (2006) Agricultura y ganadería compatibles en los secanos semiáridos.1. *Navarra Agraria*, **154**, 49-64.
- SEMPLE A.T. (1974) *Avances en pasturas conservadas y naturales*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Hemisferio Sur.
- SIRAMI C., BROTONS L., BURFIELD I., FONDERFLICK J. Y MARTIN J.L. (2008) Is land abandonment having an impact on biodiversity? A meta-analytical approach to bird distribution changes in the north-western Mediterranean. *Biological Conservation*, **141**, 450-459.
- VALIENTE O.L. (2003) *Valoración de la cebada en pie y de su rastrojera como dietas de verano para el ganado ovino en pastoreo*, 296 pp. Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, España.
- WOLFF A., PAUL J.P., MARTIN J.L. Y BRETAGNOLLE V. (2001) The benefits of extensive agriculture to birds: the case of the little bustard. *Journal of Applied Ecology*, **38**, 963-975.
- ZUAZO V.H.D. Y PLEGUEZUELO C.R.R. (2008) Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **28**, 65-86.

Evaluación del estado de nutrición nitrogenada de cultivos forrajeros de invierno en la cornisa cantábrica

Evaluation of the nitrogen nutrition state of winter forage crops in the north of Spain

J. BUSQUÉ MARCOS / A.L. GONZÁLEZ HOYOS

Centro de Investigación y Formación Agrarias. Gobierno de Cantabria. c/ Héroes del 2 de Mayo, 27. E-39600 Muriedas juanbusque@cifacantabria.org

Resumen: La gestión de la fertilización nitrogenada es clave en la productividad forrajera en la cornisa cantábrica, donde el purín es el fertilizante más utilizado en las explotaciones ganaderas. La mayoría de las recomendaciones de fertilización continúan basándose en análisis edáficos o estimaciones de extracción del cultivo que no reflejan la disponibilidad real de nutrientes para las plantas. El objetivo de nuestro trabajo es evaluar en una ganadería de leche dos técnicas de medición del estado nutricional de nitrógeno de cultivos forrajeros invernales mediante análisis de material vegetal. La primera técnica, más laboriosa y considerada de referencia, consistió en el cálculo directo del Índice de Nutrición Nitrogenada (INN). La segunda técnica, de más fácil determinación, consistió en el cálculo de la concentración de nitrógeno en las hojas más altas de la gramínea dominante (Nup), analizando posteriormente su relación con el INN. Los resultados obtenidos indicaron respuestas diferentes en el INN de los cultivos a la aplicación inicial de purín (baja), a la aplicación posterior de fertilizante químico (positiva) y a la participación de leguminosas en el cultivo (positiva). Asimismo se comprobó la existencia de una relación estrecha entre el INN y el Nup, lo que resulta prometedor para la aplicación futura de esta técnica en las explotaciones.

Palabras clave: índice de nutrición nitrogenada, nitrógeno crítico, purín, leguminosas.

Abstract: Nitrogen fertilisation, especially from slurry in dairy farms, is a key factor in forage productivity in northern Spain. Most technical advisory on fertilisation is still done based on soil analyses or estimations of crop extractions, which do not reflect the real availability of nutrients to plants. The aim of our work has been to evaluate under field conditions the usefulness of two analytical techniques to measure the nutritional state of forage crops based on plant material. The first technique, more laborious and considered as reference, consisted on the calculation of the Nitrogen Nutrition Index (NNI). The second technique, easier in its determination, calculated the nitrogen concentration in the upper leaves of the dominant grass species (Nup), analysing afterwards its relation with NNI. The results obtained indicated contrasted responses of the NNI of the crops: low to the initial slurry application, and positive to the posterior application of a chemical fertilizer and to the participation of legumes in the crop. Finally, a narrow relationship was found between NNI and Nup, which is promising for the future application of this technique at the farm level.

Key-words: nitrogen nutrition index, critical nitrogen, slurry, legumes.

INTRODUCCIÓN

Las explotaciones de vacuno de leche de la cornisa cantábrica necesitan producir forrajes propios de forma barata y no contaminante para alcanzar su sostenibilidad. Las condiciones climáticas de esta región son muy adecuadas para desarrollar rotaciones de maíz forrajero en verano y gramíneas o mezclas de gramíneas y leguminosas seleccionadas en invierno. La fertilización nitrogenada de estos cultivos es clave para alcanzar buenos rendimientos, pero dosis excesivas o mal distribuidas pueden dar lugar a problemas de contaminación atmosférica y de acuíferos subterráneos (Salcedo, 2010). El purín producido en la propia explotación es la fuente principal de fertilización en las explotaciones de leche del norte de España, complementándose puntualmente con

abonados químicos. En el caso de cultivos forrajeros de invierno la fertilización con purín se suele realizar en otoño, con un riesgo alto de pérdidas de N como lixiviación de nitratos por coincidir muchos años precipitaciones abundantes y temperaturas relativamente bajas.

Por otra parte, es todavía común evaluar las necesidades nutricionales de los cultivos forrajeros en base únicamente a los resultados de análisis edafológicos o a estimaciones de extracción del cultivo, lo cual no tiene una relación inequívoca con el estado nutricional de las plantas (Gastal y Lemaire, 2002). Como alternativa y en el caso del nitrógeno, se utiliza ya desde hace casi veinte años un índice de nutrición nitrogenada de los cultivos (INN), que computa la relación entre su concentración en nitrógeno (N actual: Na) y el nitrógeno mínimo (N crítico: Nc) que produce los crecimientos máximos para la biomasa forrajera presente (Ba). La relación entre Nc y Ba está bien establecida para cultivos de grandes grupos de plantas (grupos según su ruta fotosintética C3 y C4), siguiendo curvas exponenciales, comúnmente conocidas como de dilución del nitrógeno. Se considera que valores de INN por debajo de 0,8 indican deficiencias de nitrógeno en el cultivo y por encima de 1,2 excesos, generalmente en forma de nitratos y con riesgos asociados de lixiviación.

El objetivo de este trabajo es aplicar el índice INN en cultivos forrajeros de invierno de una explotación ganadera de la comarca litoral de Cantabria, relacionando los resultados obtenidos con la gestión de la fertilización realizada. Asimismo, y con la finalidad de facilitar la aplicación de esta metodología en la práctica, se ha probado también la fiabilidad de una metodología indirecta y más rápida de estimación del INN, a través de mediciones del nitrógeno en las hojas más altas de las plantas forrajeras (Farrugia *et al.*, 2004).

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en cuatro fincas cultivadas de una explotación lechera del municipio de Santillana del Mar (Cantabria; 43°22'50"N 4°04'20"O; altitud: 30 m.s.n.m.). Todas las fincas seguían una rotación de maíz forrajero y diferentes cultivos forrajeros de invierno, siendo representativas de este tipo de rotación en la cornisa cantábrica. Los suelos de las fincas son en su mayor parte phaeozems calcáreos y están clasificados como de alta o muy alta capacidad de uso agrario (Zonificación Agroecológica de Cantabria; www.cartotecaagraria.com/marc.html; 2005). Las características principales de las fincas y de los cultivos forrajeros se muestran en la tabla 1.

Las fincas se sembraron a principios de octubre de 2009, tras la aplicación de purín a una dosis aproximada de 60 000 L ha⁻¹ mediante un sistema de inyección al suelo, y equivalente a una dosis (kg ha⁻¹) de 120 N, 73 P₂O₅ y 204 K₂O. A principios de marzo se realizó una aplicación de 150 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado granulado con una riqueza en nitrógeno del 31% (27% en forma ureica y 4% en forma amoniacal; Rizhovit – TIMAC Agro, S,A). La climatología del periodo de desarrollo de los cultivos se muestra en la figura 1.

Tabla 1. Características agronómicas de las fincas del estudio.

	Finca I	Finca II	Finca III	Finca IV								
Superficie (ha)	6,6	6,3	0,8	5,4								
Pendiente (%)	7,2	8,6	3,3	5,5								
Siembra	Laboreo tradicional	Siembra directa	Siembra directa	Siembra directa								
Dosis (kg ha⁻¹)	45	75	45	45								
Mezcla	<i>L. multiflorum</i> 'westerworld' 80% <i>T. incarnatum</i> 10% <i>T. resupinatum</i> 10%	<i>L. multiflorum</i> 'westerworld' 80% <i>T. repens</i> 10% <i>Vicia villosa</i> 10%	<i>L. multiflorum</i> 'westerworld' 80% <i>T. incarnatum</i> 10% <i>T. resupinatum</i> 10%	<i>L. multiflorum</i> 'westerworld' 80% <i>T. incarnatum</i> 10% <i>T. resupinatum</i> 10%								
Análisis edafológico (horizontes -cm-)												
	0-10		30-40		0-10		30-40					
pH	7,1	5,7	7,2	6,9	7,0	6,2	7,0	5,6				
MO (%)	6,6	1,4	4,2	1,3	5,7	0,7	7,7	1,9				
C/N	8,5	6,3	8,1	6,9	6,0	5,0	8,1	7,6				
Textura (USDA)	Franco-Limoso	Franco-Arcilloso	Franco-Limoso	Franco-Limoso	Franco	Franco-Arcilloso	Franco	Franco				
P (ppm; Olsen)	22,3	1,6	20,1	3,2	21,1	1,8	49,2	5,6				
Ca (ppm)	4539	2055	3507	2425	3892	1735	4919	2179				
Mg (ppm)	557	257	255	132	338	164	414	403				
K (ppm)	345	126	321	91	164	68	417	112				
CIC (cmol_c/kg)	30,3	30,2	22,4	18,8	24,2	17,7	33,6	24,0				
Composición Botánica (Gramíneas - Leguminosas - Otras, % sobre MS)												
	Gra	Leg	Otr	Gra	Leg	Otr	Gra	Leg	Otr	Gra	Leg	Otr
Media	93,6	1,4	5,0	81,1	18,2	0,7	91,6	7,5	0,9	97,3	2,4	0,3
d.t.	3,55	0,67	3,03	2,57	2,29	0,50	7,47	7,15	0,26	0,94	0,93	0,23

El diseño experimental se ajustó a un modelo jerárquico con medidas repetidas. La toma de muestras de forraje se realizó en cuatro fechas distintas, dos antes de la aplicación del fertilizante químico (25 de febrero y 4 de marzo) y dos después (11 de marzo y 9 de abril), y en tres zonas bien definidas dentro de cada una de las cuatro fincas. Se recolectaron en paralelo y mediante una segadora de mano eléctrica y también manualmente muestras de dos tipos: (a) biomasa forrajera total en un m² de superficie de pasto (Ba; expresado en t MS ha⁻¹), y (b) una cantidad suficiente (~30 g MS) de puntas de las hojas verdes superiores de plantas de raigrás italiano localizadas en los alrededores de la muestra recogida del tipo (a). Del muestreo (a) se extrajeron submuestras para determinar su composición botánica en peso (tabla 1). Las muestras (a) y (b) se secaron en estufa a 60°C durante 48 horas, se pesaron y se analizó su concentración de nitrógeno (N_p, expresado en % sobre la MS) por el método Kjeldahl. El muestreo (a) sirvió para el cálculo directo del INN, mientras que el muestreo (b) tuvo el objetivo de probar su utilidad como método indirecto de estimación del INN, basándose en la posible correlación entre la concentración de nitrógeno en las puntas de las hojas más

altas (Nup) y el INN (Farrugia *et al.*, 2004). El INN se calculó utilizando la siguiente ecuación (Gastal y Durand, 2001):

$$INN = \frac{N_p}{4,8 \times B_c} \quad (1)$$

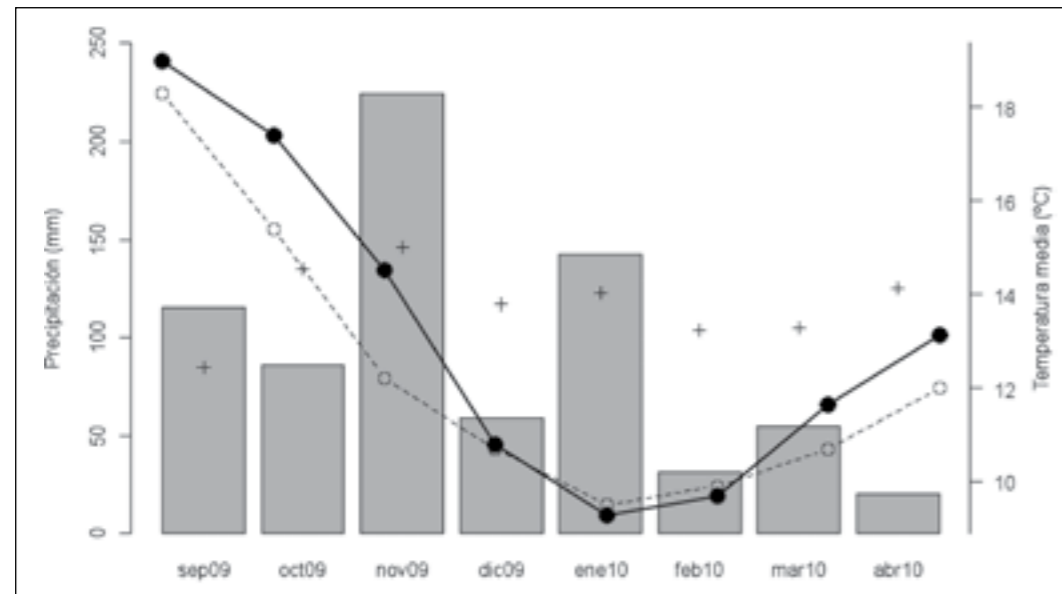


Figura 1. Precipitación y temperaturas medias mensuales en el periodo de estudio (barras y línea continua) y en el periodo 1971-2000 (cruces y línea discontinua) para la estación meteorológica de Santander (fuente: AEMET).

El diseño experimental permitió ajustar los resultados a modelos lineales mixtos, donde la finca y la zona anidada a la finca se consideraron inicialmente como efectos aleatorios. Un primer análisis consideró el INN como variable respuesta, el momento respecto a la aplicación del fertilizante (MF) como efecto fijo (2 niveles: antes y después) y el porcentaje de leguminosas en la muestra forrajera (pLeg) como covariable. Se realizó un segundo análisis de covarianza para estudiar la posible relación entre el Nup (variable respuesta) y el INN, probando también los posibles efectos de MF y pLeg. Con el objetivo de buscar los modelos más parsimoniosos, en los dos análisis se escogieron aquéllos que minimizaran de forma significativa el estadístico AIC (Akaike Information Criteria). Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete “nml” (Pinheiro y Bates, 2000) del programa R (R Development Core Team, 2009, <http://www.R-project.org>).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de biomasa de las muestras de forraje analizadas fueron bajos (alrededor de las 2 t MS ha⁻¹) hasta la tercera fecha de muestreo (11 de marzo; figura 2), principalmente debido a las bajas temperaturas del invierno (fig. 1). En cuanto a los valores

de INN, casi todas las muestras tuvieron valores inferiores a 0,8 (fig. 2), lo que indica déficits de nitrógeno que se tradujeron en crecimientos del pasto por debajo de los considerados óptimos (Gastal y Durand, 2001). A pesar de la fuerte fertilización con purín previa a la siembra, su escaso efecto sobre los valores de INN del pasto en los dos primeros controles fue posiblemente resultado del lavado del nitrógeno por las fuertes lluvias ocurridas en noviembre y también por las bajas temperaturas invernales (fig. 1).

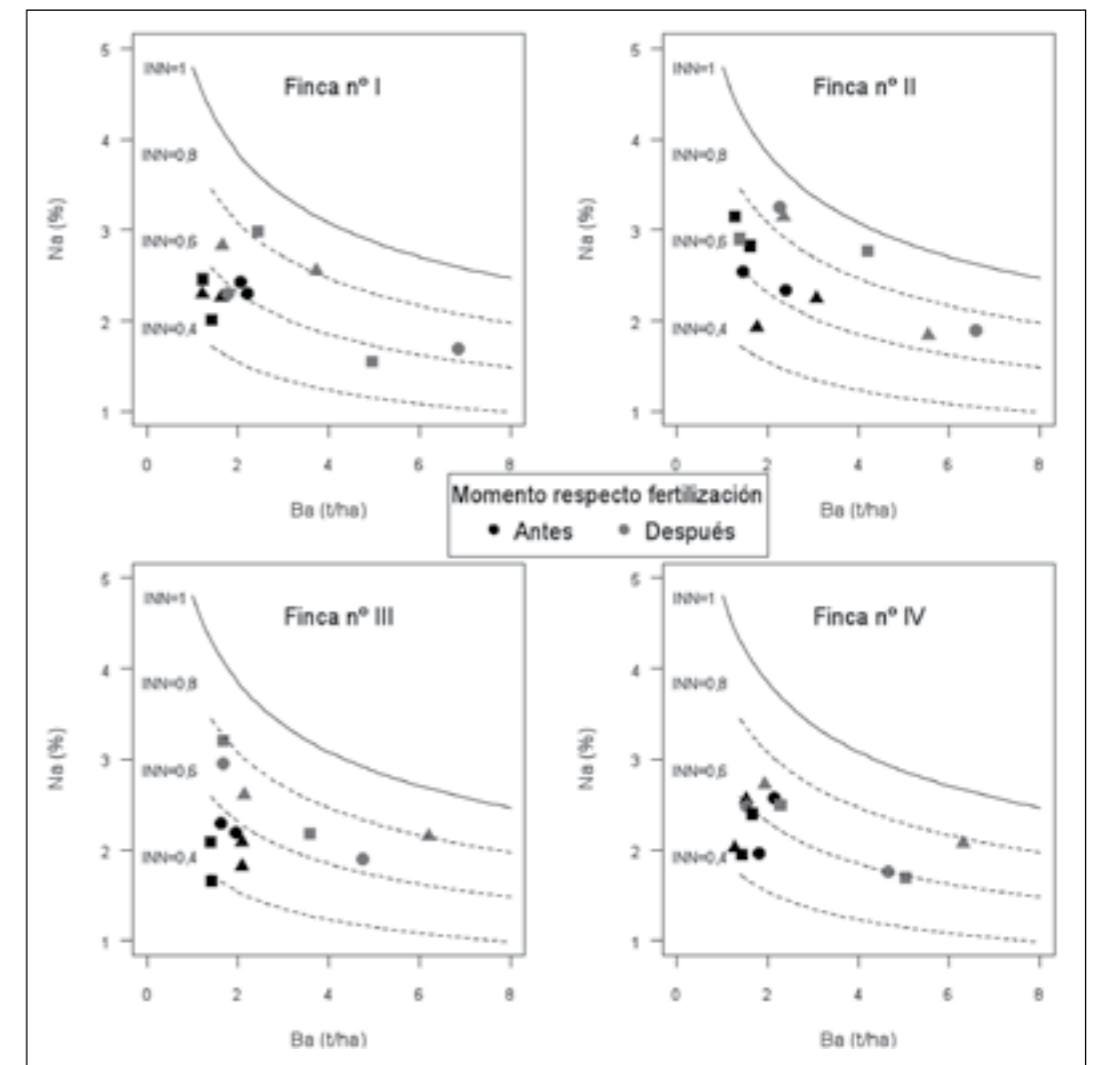


Figura 2. Valor del Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) de las muestras de forraje recolectadas según su posición respecto a los valores de biomasa forrajera (Ba) y concentración de nitrógeno (Na). Cada figura representa los valores de una de las fincas, y cada tipo de punto (cuadrado, circular y triangular) una zona diferente dentro de cada finca. Los colores de los puntos diferencian el momento del muestreo respecto a la aplicación de fertilización mineral (5-6 de marzo).

El primer análisis mostró que el INN aumentó significativamente ($p < 0,001$) con el aporte del fertilizante químico ($+0,15 \pm 0,024$ error típico) y linealmente con el por-

centaje de leguminosas en el forraje ($+0,005 \pm 0,0011$ e.t.). No existió una interacción significativa entre estos dos efectos. El INN se estimó con un valor de partida (antes de la aplicación del fertilizante y para una muestra de forraje sin leguminosas) de 0,53 ($\pm 0,019$ e.t.). El fuerte incremento de INN con la aplicación del fertilizante químico evidencia su gran efectividad, con una rápida absorción por las plantas facilitada también por la subida de las temperaturas. El efecto de incorporar leguminosas en la mezcla forrajera también fue notable, con 5 puntos de incremento del INN por cada 10% de biomasa forrajera como leguminosas. En la finca II, con un 18% de media de leguminosas (tabla 1), esto supuso 9 puntos adicionales de INN. La falta de una interacción significativa entre MF y pLeg indica que, dentro de los valores encontrados en este ensayo, ambos efectos se comportaron como aditivos.

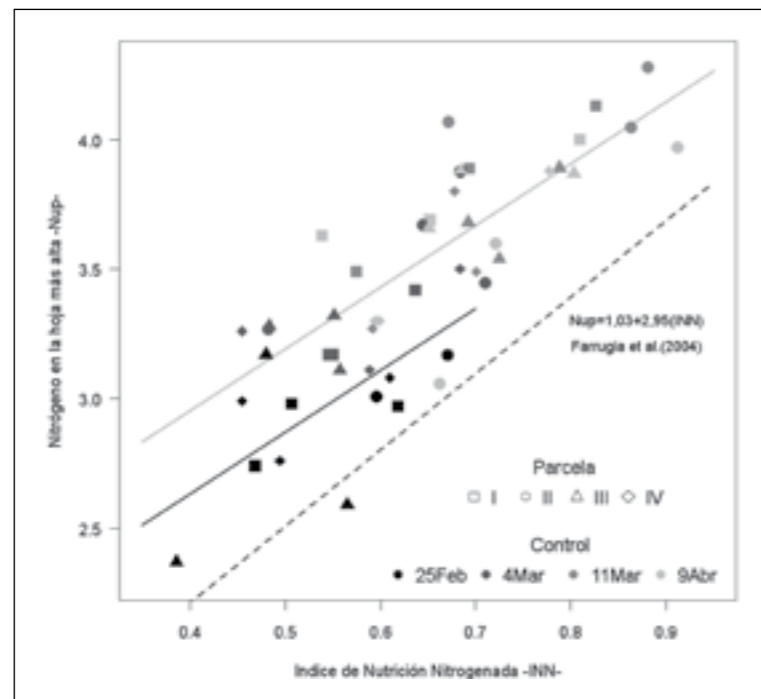


Figura 3. Relación entre el Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) y la concentración de nitrógeno (% sobre MS) en las hojas más altas del dosel del pasto (Nup). Las líneas continuas representan las regresiones específicas para el primer control (negra) y para los siguientes (gris). La línea discontinua corresponde a la encontrada por Farrugia *et al* (2004).

El segundo análisis indicó la existencia de una relación lineal estrecha entre el INN y el Nup, aunque se observaron diferencias en el intercepto de la regresión según la fecha de muestreo (fig. 3): 1,68 ($\pm 0,173$ e.t.) en el primer muestreo (25 de febrero) y 0,32 ($\pm 0,082$) más en los siguientes muestreos, que no fueron significativamente diferentes entre sí. Esta diferencia podría achacarse a las temperaturas más bajas en el entorno del primer muestreo, lo que hubiera podido afectar en mayor medida a las

hojas en crecimiento más altas, pero también más expuestas al ambiente externo. Por su parte, las pendientes de las regresiones fueron iguales, al no resultar significativa la interacción entre el INN y la fecha de muestreo. Esta pendiente tuvo un valor de 2,39 ($\pm 0,296$), con un intervalo de confianza al 95% de 1,81-2,97, que incluye el valor de la pendiente obtenida en el trabajo de Farrugia *et al.* (2004) (fig. 3). Las diferencias de las condiciones de nuestro estudio con respecto a las de este último trabajo fueron notables, tanto en el tipo de pasto, cultivo vs. pradera, en la época de análisis, otoño-invierno vs. primavera-verano, y en el rango de INN abarcado (0,4-0,9 vs. 0,4-1,3).

CONCLUSIONES

El cálculo directo o indirecto del índice de nutrición nitrogenada (INN) ha permitido evaluar la respuesta productiva de los cultivos forrajeros de invierno de una ganadería a tres fuentes de nitrógeno diferentes: purín aplicado en presiembra, fertilizante de síntesis aplicado al inicio de primavera y leguminosas del cultivo. Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de profundizar en el estudio de la interacción y complementariedad de estos aspectos para mejorar la eficiencia de la fertilización en estos tipos de pasto.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda prestada por D. Jerónimo Ventisca, de la ganadería S.A.T. Ventisca, así como al personal del laboratorio del CIFA, por los análisis realizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FARRUGIA A., GASTAL F. Y SCHOLEFIELD D. (2004) Assessment of the nitrogen status of grassland. *Grass and Forage Science*, **59**, 113-120.
- GASTAL F. Y DURAND J. (2001) Effects of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. En: Lemaire G. *et al.* (eds) *Grassland ecophysiology and grazing ecology*, pp. 15-39. Wallingford, Reino Unido. CABI Publishing.
- GASTAL F. Y LEMAIRE G. (2002) N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, **53(370)**, 789-799.
- PINHEIRO J.C. Y BATES D.M. (2000) *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. Nueva York, E.E.U.U. Springer.
- SALCEDO G. (2010) *Manual de mejora ambiental de las explotaciones lecheras de Cantabria*. Cantabria, España: CIMA, Gobierno de Cantabria.