



Foto: G. Salcedo

Equipo de inyección de purín utilizado

Valor fertilizante del purín según su forma de aplicación

En este artículo se recoge el trabajo de investigación llevado a cabo con el objetivo de analizar la producción y el valor fertilizante de reemplazo del N del purín para un cultivo invernal de raigrás italiano, según el sistema de aplicación: en abanico o inyectado, y considerando o no las pérdidas de amoníaco.

Gregorio Salcedo Díaz
CIFP La Granja, 39792 Heras, Cantabria

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron estimar el valor fertilizante de reemplazo del nitrógeno contenido en el purín del vacuno lechero para la producción de materia seca (VFRNMS) y el consumo de N (VFRNN) respecto al fertilizante

nitrito amónico cálcico (NAC 27 %), así como las pérdidas de amoníaco cuando se aplica en abanico (Ab) o inyectado (In) en un cultivo forrajero de raigrás italiano tipo alternativo.

El experimento se llevó a cabo durante los años 2011 y 2012 con la variedad Agraco-812 a las dosis de N 0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹, repartidas en dos momentos. Las diferencias en la producción de materia seca por hectárea con NAC respecto al Ab-In fueron de 1372-939 kg MS ha⁻¹; el nitrógeno

consumido de 32-22 kg ha⁻¹; la eficiencia aparente del N de 25,1-17,2 kg MS kg⁻¹ N y el nitrógeno aparentemente recuperado de 0,58-0,4, kg N kg⁻¹ N respectivamente. Las pérdidas de nitrógeno amoniacal fueron un 62,9 % menores en inyección que en abanico. El VFRNMS y VFRNN fue un 20 % y 18 % superiores en inyección respecto al abanico. Estos porcentajes se incrementaron un 7 % y 8 % cuando se consideraron las pérdidas de nitrógeno amoniacal.



► LA DECISIÓN DEL TIPO DE FERTILIZANTE A EMPLEAR ES IMPORTANTE PARA REDUCIR LOS COSTES DE PRODUCCIÓN Y MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE AMONIACO

INTRODUCCIÓN

La rotación más utilizada en las explotaciones lecheras del norte de España es la formada por maíz (*Zea mays* L.) como cultivo de verano principal y raigrás italiano (*Lolium multiflorum* L.) en invierno. La mayoría de los ganaderos lo aprovechan para ensilado en un solo corte y una minoría dan un corte para consumo en verde y un segundo como ensilado, o lo utilizan únicamente en verde. Aumentar el número de cortes en un cultivo de corta duración (enero-abril) requiere suministrar fertilizante nitrogenado para aumentar su productividad y garantizar su rentabilidad. La decisión del tipo de fertilizante a emplear es importante para reducir los costes de producción y minimizar las pérdidas de amoníaco, debiéndose también ajustarse a la legislación vigente (ver artículo cuarto del Real Decreto 980/2017).

Las emisiones de amoníaco procedentes de la aplicación de purín contribuyen a la contaminación del aire, a la degradación de los ecosistemas, a la pérdida de nitrógeno reactivo de los sistemas agrícolas (Hafner *et al.*, 2018) y a la eutrofización y acidificación de los suelos (Sintermann *et al.*, 2012). Entre otras, una forma de valorar el contenido de nitrógeno útil del purín fresco del vacuno es a través del cálculo de la recuperación aparente de N (NAR) y el valor fertilizante de reemplazo del N (VFRN). Este último se define como el factor por el cual debe multiplicarse el N del fertilizante orgánico para proporcionar una respuesta equivalente a la obtenida con un fertilizante de referencia (Petersen, 2003), normalmente mineral. Ambos índices pueden ser calculados a partir de su contenido de N amoniacal. El valor fertilizante del N debe contabilizarse en los planes de fertilización por el nitrógeno aparentemente recobrado (NAR) o por su valor fertilizante de reemplazo del N (VFRN). El VFRN se considera una medida de calidad más general que el NAR porque permite comparar los valores de los fertilizantes orgánicos en diferentes condiciones edafoclimáticas.

Experimentos con purines no tratados (Sørensen *et al.*, 2003; Reijs *et al.*, 2007 y Webb *et al.*, 2013) demuestran que el N disponible del purín para el cultivo durante el primer año se encuentra cercano a su porcentaje de amoníaco. Por su parte, Möller y Müller (2012) señalan que el VFRN del purín es similar a su contenido en amoníaco. La eficiencia en el uso del N está influenciada por el método y el momento de aplicación (Hoekstra *et al.*, 2010), por la tasa de aplicación (Misselbrook *et al.*, 2006) y por las condiciones climáticas y edáficas (Dowling *et al.*, 2008; Lalor y Schulte, 2008). Bajas eficiencias de utilización del N del purín se asocian a tasas elevadas de amoníaco volatilizado. ►

¡Abre bien los ojos!



No todos los fertilizantes nitrogenados son iguales.

Numerosos estudios de I+D han demostrado que la menor pérdida de nitrógeno se consigue con la aportación de un **equilibrio perfecto** en **nitrógeno** y **magnesio** lo que se traduce en mayor proteína y cantidad de forraje.

Fertimón ha conseguido con **NITROFERTIMÓN**, ese equilibrio a un nivel que no aporta ningún otro fertilizante.



GRUPO
SOAGA

Parque Empresarial Vilanova I
36614 Baion - Vilanova de Arousa (Pontevedra)
Tf. 986 51 60 30 - soaga@soaga.com
www.soaga.com

Tabla 1. Datos meteorológicos durante el crecimiento del cultivo (2011-2012) y la media de temperaturas y precipitaciones en el periodo 1984-2010

Precipitación (mm)			Temperatura °C			
			Media de las máximas		Media de las mínimas	
	1984-2010	2011-2012	1984-2010	2011-2012	1984-2010	2011-2012
Enero	54,18	53,67	13,53	13,60	5,76	5,88
Febrero	44,05	45,72	13,91	13,87	5,75	5,70
Marzo	45,58	43,87	15,63	15,74	6,97	6,95
Abril	42,68	42,43	16,57	16,67	8,33	8,41
Mayo	46,01	44,80	19,17	19,20	11,6	11,14
Junio	35,22	34,38	21,52	21,64	13,98	13,94
Julio	27,56	27,47	23,58	23,69	15,96	15,91
Agosto	26,61	25,37	24,33	24,43	16,50	16,44
Septiembre	36,52	35,28	22,76	23,06	14,39	14,42
Octubre	65,05	62,08	20,39	20,73	11,90	11,89
Noviembre	85,01	87,29	16,22	16,39	8,70	8,80
Diciembre	61,41	64,31	14,21	14,30	6,63	6,68

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología

► UNA FORMA DE VALORAR EL CONTENIDO DE NITRÓGENO ÚTIL DEL PURÍN FRESCO DEL VACUNO ES A TRAVÉS DEL CÁLCULO DE LA RECUPERACIÓN APARENTE DE N (NAR) Y EL VALOR FERTILIZANTE DE REEMPLAZO DEL N

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

El experimento se desarrolló en la finca de prácticas del CIFP La Granja, Cantabria (43° 24'N; 3° 45'W y 5 m sobre el nivel del mar) durante los años 2011 y 2012. Las características del suelo fueron: textura franco-arcillo-limosa; pH 6,24; materia orgánica oxidable 2,09 %; N 0,14 %; C/N 11,2; P (Olsen) 12,5 ppm; Ca 866 ppm; Mg 92 ppm; K 96 ppm; capacidad de intercambio catiónico 18,6 mEq/100 g suelo. La temperatura y pluviometría durante los años de estudio se indican en la tabla 1.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo a parcelas divididas y tres repeticiones, con unas dimensiones de 2 x 15 m para la parcela elemental. La parcela principal consistió en tres tipos y métodos de aplicación de nitrógeno: i) nitrógeno amónico cálcico (NAC) del 27 % aplicado en superficie; ii) purín de vacuno lechero sin localizar y aplicado en la modalidad de abanico y iii) purín inyectado. La subparcela consistió en cuatro dosis de N: 0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹.

Operaciones de cultivo

La preparación del terreno consistió en dos pases cruzados de fresadora los días 4 y 5 de octubre de 2010, y 22 y 23 de septiembre de 2011. El raigrás fertilizado con NAC recibió además 7, 14 y 21 kg/ha de P₂O₅ y 13, 36 y 39 kg/ha de K₂O como abonado de fondo en los tratamientos 30, 60 y 90 kg N ha⁻¹ para equilibrar el aporte de P₂O₅ y K₂O del purín.

El raigrás italiano tipo alternativo (cv. Agraco-812) fue sembrado con una sembradora de chorrillo Amazona el 6 de octubre de 2010 y el 27 de septiembre de 2011 a la dosis de 40 kg de semilla por hectárea. Seguidamente, se pasó un rodillo *cul-tipacker* para nivelar el terreno y minimizar los efectos de la posible contaminación por tierra del forraje en los muestreos y la siega final.

La dosis de N establecida en el experimento se fraccionó en dos aplicaciones los días 11 de enero y 4 de marzo de 2011; 20 de diciembre y 27 de febrero en 2012. El purín aplicado en abanico fue repartido manualmente con una manguera dispuesta en la cuba y proyectado con una inclinación de 45° respecto al suelo. El purín inyectado fue aplicado con un equipo de inyección de 12 salidas y 2,5 m de ancho (ver foto de apertura). ►►

Tabla 2. Composición química del purín

	2011		2012	
	1.ª aplicación	2.ª aplicación	1.ª aplicación	2.ª aplicación
MS, %	13,5±0,14	11,9±0,17	6,42±0,16	7,54±0,21
pH	7,03±0,08	7,13±0,021	7,05±0,028	7,20±0,028
N total, g kg MS ⁻¹	3,7±0,14	4,0±0,14	3,6±0,14	3,8±0,07
NH ₃ , g kg MS ⁻¹	1,58±0,04	1,66±0,05	1,58±0,02	1,62±0,06
N orgánico, g kg MS ⁻¹	2,12±0,10	2,34±0,08	2,02±0,11	2,23±0,01
P, g kg MS ⁻¹	0,63±0,01	0,61±0,07	0,61±0,02	0,61±0,01
K, g kg MS ⁻¹	2,16±0,06	2,09±0,02	2,14±0,10	2,12±0,02

Las dosis del purín aplicado en abanico fueron ajustadas previamente según el caudal de salida y el tiempo empleado en aportar cada dosis. El inyectado se ajustó mediante cierres y aperturas de las gomas desde el triturador a la bota del equipo de inyección. Días antes a la aplicación de purín se tomaron muestras recogidas directamente de la cuba para analizar su contenido en N y así ajustar el volumen de purín a aplicar. La composición química del purín viene señalada en la tabla 2.

El raigrás fue aprovechado los días 2 de febrero, 4 de marzo, 5 de abril y 3 de mayo en 2011, y el 13 de enero, 27 de febrero, 29 de marzo y 26 de abril en 2012, siempre en estado vegetativo maduro. Dentro de cada subparcela y tratamiento se segó una superficie de 2 x 1 m con una barra guadañadora (BCS, tipo BF80/175) de 1 m de corte a 5 cm del suelo para estimar la biomasa forrajera final por hectárea. Más tarde, todas las parcelas fueron segadas con segadora-acondicionadora Claas Disco 2650 C. Dentro de cada superficie de muestreo se tomaron alícuotas de aproximadamente 1000 g de forraje, de los cuales 100 g sirvieron para determinar la materia seca en estufa a 60 °C durante 48 horas y predecir la materia seca final por hectárea. El resto fue secado igualmente, molido a 1 mm con un molino Retsch y conservado en contenedores de plástico herméticos de 250 ml para análisis posteriores.

Determinaciones analíticas del purín y del raigrás

La materia seca del purín se determinó tras su secado en estufa a 60 °C

durante 48 horas. El N total y amoniacal se determinaron con el Kjeltetec™ 2300 de TECATOR sobre material fresco, previamente agitado. La materia seca final del raigrás a 103 °C y el N total se estimó como N-Kjeldahl con el Kjeltetec™ 2300 de TECATOR. El contenido de nitratos se determinó en el Laboratorio Agroalimentario de Santander por cromatografía líquida, utilizando una columna de intercambio iónico y un detector de ultravioleta a una longitud de onda de 204 nm, previa extracción en agua caliente tratada con acetonitrilo para eliminar sustancias interferentes.

Cálculos

a. Valor fertilizante de reemplazo

La materia seca del raigrás de cada aprovechamiento y su contenido en N fueron acumulados cada año para estimar el N consumido con fertilizante (NC_f) o purín (NC_p) por hectárea según la ecuación:

$N \text{ consumido (NC}_{f \text{ o } p}\text{) kg ha}^{-1} = \Sigma (\text{MS, kg ha}^{-1} \times N \text{ del forraje, kg kg}^{-1} \text{ MS y aprovechamiento})$

Las relaciones entre el rendimiento de MS, el consumo de N y la tasa de fertilizante nitrogenado mineral aplicado por año fueron ajustadas a un modelo cuadrático:

$$Y(N) = a + bN + cN^2, N < d \\ (N) = Y \text{ máx}, N \geq d$$

Donde **Y** es el rendimiento de MS (kg ha⁻¹) o de N (kg ha⁻¹); **a** es el intercepto (rendimiento de MS o de N a 0 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado mineral); **b** y **c** son los coeficientes lineales y cuadráticos, respectivamente; **d** es el punto de unión de la curva, es decir, ►

► LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA Y EL CONSUMO DE NITRÓGENO FUERON UN 9,1 % Y 8,6 % SUPERIORES CON PURÍN INYECTADO RESPECTO AL APLICADO CON ABANICO (P<0,05)

la tasa de N de fertilizante por encima de la cual se obtiene un rendimiento máximo de MS consumo de N (kg ha^{-1}). Se calcula como:

$$d = \frac{-b}{2c}$$

$Y_{\text{máx}}$ es el valor máximo de la variable respuesta (kg ha^{-1}), calculándose como:

$$Y_{\text{máx}} = a - \frac{b^2}{4c}$$

El N aparentemente recobrado con fertilizante mineral (NAR_f) o con purín (NAR_p) en cada tratamiento se estimó a partir de las ecuaciones:

$$\text{NAR}_f (\text{kg}^{-1} \text{ kg}) = (\text{NC con } f - \text{NC sin } f) / N_f$$

$$\text{NAR}_p (\text{kg}^{-1} \text{ kg}) = (\text{NC con } p - \text{NC sin } p) / N_p$$

La eficiencia aparente del N con fertilizante mineral (EAN_f) o con purín (EAN_p) para la materia seca fue calculada como:

$$\text{EAN}_{\text{MS } f \text{ ó } p} (\text{kg MS kg}^{-1} \text{ N}) = (\text{MS con } f \text{ ó } p - \text{MS sin } f \text{ ó } p) / N_{f \text{ ó } p}$$

El valor fertilizante de reemplazo del N (VFRN) se calculó a partir del N recuperado con purín en relación al N mineral y su expresión está basada en la producción de materia seca (VFRNMS) o en el consumo de N (VFRNN), ambos en kg kg^{-1} según las expresiones:

$$\text{VFRN}_{\text{MS}} = \text{NAR}_f = \text{MS}_p / \text{NAR}_p$$

$$\text{VFRN}_N = \text{NAR}_f = \text{N}_{cp} / \text{NAR}_p$$

donde $\text{NAR}_f = \text{MS}_p$ es el N mineral requerido para obtener una producción de materia seca equiva-

lente al tratamiento con purín (kg ha^{-1}) y $\text{NAR}_f = \text{N}_{cp}$ es el fertilizante mineral N requerido para obtener una absorción de N equivalente a la del tratamiento con purín (kg kg^{-1}), y NAR_p es el N total aplicado como purín (kg ha^{-1}). El $\text{NAR}_f = \text{N}_{cp}$ para cada réplica de tratamiento de purín fue estimado usando la curva de respuesta específica de N de cada año. Finalmente se estimó el VFRNMS y el VFRNN del purín después de restar las pérdidas de N amoniacal debidas al sistema de aplicación.

b. Pérdidas de N amoniacal

Las pérdidas amoniacales del purín dentro de cada método de aplicación se estimaron con los modelos ALFAM (Søgaard *et al.*, 2002) y ALFAM2 actualizado (Hafner *et al.*, 2018). Estos modelos describen la acumulación de amoníaco volatilizado, N (t), con el tiempo, t, desde el inicio del experimento. Los *inputs* del modelo vienen señalados en la tabla 3. La cantidad de N es adimensional, puesto que expresa el N amoniacal perdido como la fracción de N aplicado:

$$N(t) = \frac{\text{Pérdida de NH}_3 \text{ sobre el tiempo } t (\text{kg } \frac{\text{N}}{\text{ha}})}{\text{Purín aplicado } (\frac{\text{ton}}{\text{ha}}) \times \text{contenido de N del purín } (\text{kg } \frac{\text{N}}{\text{ton}} \text{ purín})}$$

Análisis estadístico

Los resultados de la producción de forraje y nitrógeno total por hectárea fueron sometidos a análisis de la varianza (ANOVA) con el programa SPSS v 15.0 (SPSS, 2006), ajustando el modelo:

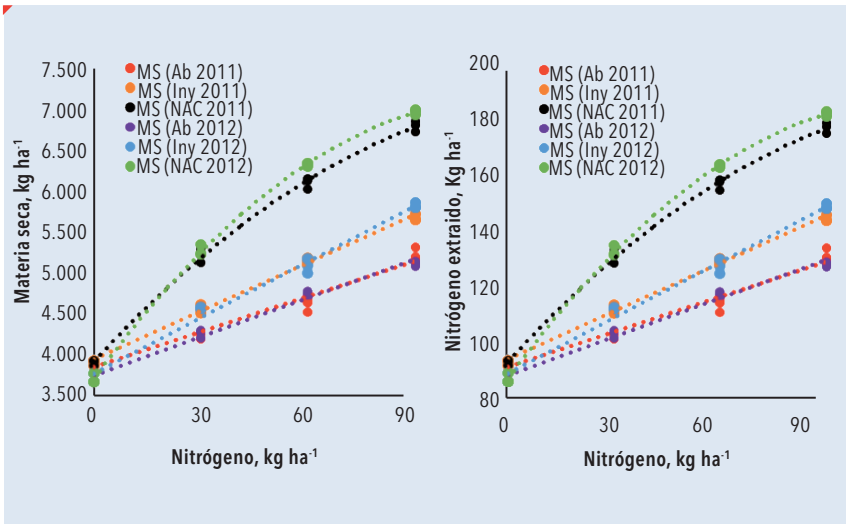
$$Y_{ijk} = \mu + B_k + \alpha_i + \epsilon_{ik} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \delta_{ijk}$$

► ESTA DIVERSIDAD DE RESULTADOS PODRÍA ESTAR RELACIONADA CON LA VARIABILIDAD EXISTENTE EN ASPECTOS TALES COMO EL CLIMA, LA TEXTURA DE LOS SUELOS, SU CONTENIDO EN N, LA DILUCIÓN DEL PURÍN O LOS EQUIPOS DE INYECCIÓN

Tabla 3. Variables requeridas por el modelo ALFAM

2011		2012			
Aplicaciones	1. ^a	2. ^a		1. ^a	2. ^a
Fechas de aplicación	11 de enero	5 de marzo		13 de enero	28 de febrero
Suelo (seco/húmedo)			Húmedo		
Temperatura aire, °C	13,9	9,9		11,9	8,5
Velocidad viento, m s ⁻¹	1,4	3,27		5,8	3,6
Tipo de purín	Vacuno lechero				
Purín, t/ha	4-8-12	4-8-12		4-8-12	4-8-12
MS, g 100 g ⁻¹	135±1,4	121±0,7		63,1±0,42	75,4±1,62
N, g 1000 g ⁻¹	3,7±0,14	4,0±0,14		3,6±0,14	3,8±0,07
NH ₃ , g 1000 g ⁻¹	1,58	1,66		1,58	1,62
Técnica de medición	Técnicas de medición de balance de masa micrometeorológica				

Figura 1. Relaciones entre el N aplicado, N consumido y producción de materia seca entre años para aplicación en abanico (Ab), inyección (Iny) y nitrato amónico cálcico (NAC)



► LA MAYOR PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA, DE NITRÓGENO, LA EFICIENCIA APARENTE DEL N, EL NAR Y LA CONCENTRACIÓN DE NITRATO EN EL FORRAJE FUERON SUPERIORES CON ABONO MINERAL

Tabla 4. Valores de los parámetros de la regresión cuadrática que explican el rendimiento de materia seca (MS) y la absorción de N en función de la tasa de aplicación de fertilizante mineral N para cada año

Año	Producción de materia seca						Consumo de N					
	a	b	c	d	Ymax	R²	a	b	c	d	Ymax	R²
2011	3977	47,6	-0,182	131	7089	0,99	91,3	1,27	-0,005	127	172	0,99
2012	3762	59,5	-0,265	112	7102	0,99	92,7	1,37	-0,005	137	185	0,98

a = producción de materia seca a 0 kg ha⁻¹ de NAC
d = punto de unión de las curvas (tasa de fertilizante mineral N por encima de la cual se obtiene el rendimiento máximo de MS o la captación de N) Ymax = máxima producción de materia seca o máximo consumo de N

Siendo μ : media general; B_k : bloque 1, 2 y 3; α_i : parcela mayor (purín convencional, purín inyectado y nitrato); ϵ_{ik} : error experimental de las parcelas grandes; β_j : parcela menor (0, 30, 60 y 90 kg N ha⁻¹); $\alpha\beta_{ij}$: interacción y δ_{ijk} : error experimental. Las diferencias entre las medias se realizaron con el test de Tukey al 5 %.

RESULTADOS
Producción de forraje y consumo de nitrógeno

Los parámetros de la regresión no lineal que explican el rendimiento de materia seca (MS) y el consumo de N son función del fertilizante nitrogenado mineral aplicado (tabla 4). Los valores de a para las producciones de MS y

N sin fertilizante fueron similares entre años, con medias de 3977-91,3 en 2011 y 3762-92,7 kg ha⁻¹ en 2012 respectivamente. Los valores de d para la producción de MS y para el N consumido fueron altos, indicando un consumo residual del fertilizante N aplicado después de cada aprovechamiento. Los coeficientes de determinación para la producción de materia seca y del consumo de nitrógeno fueron similares entre años. Las relaciones entre el N aplicado, el N consumido y la producción de materia seca acumulada se presentan en la figura 1. Los rendimientos de MS y la absorción de N a las dosis equivalentes de N con purín fueron inferiores a los estimados con fertilizante mineral (tabla 5). ►►

Tabla 5. Producción de forraje, N, contenido de nitratos (NO₃) y eficiencias aparentes del N

	Método					Dosis			Significación		
	Abanico	Inyección	NAC	0	30		60	90	Sistema	Dosis	S*D
MS	4779a	5212b	6151c	3912a	4768b		5399c	5795d	***	***	***
N	116a	126b	148c	93a	114b		130c	145d	***	***	***
NO ₃ -	3,37a	3,95a	5,91b	1,74a	3,54b		4,32b	5,37b	***	***	**
Sin considerar las pérdidas de NH ₃ del purín											
NAR	0,39a	0,57b	0,97c	-			0,63a	0,58a	***	***	***
EAN _{MS}	14,4a	22,3b	39,5c	-			24,7a	22,9a	***	***	***
Considerando las pérdidas de NH ₃ del purín											
NAR	0,47a	0,61b	0,97c	-			0,66a	0,62a	***	***	*
EAN _{MS}	17,3a	23,8b	39,5c	-			26,4a	24,4a	***	***	***

MS: materia seca (kg ha⁻¹); N: nitrógeno consumido (kg ha⁻¹); NO₃- forraje: g kg⁻¹ MS; NAR: nitrógeno aparentemente recuperado (kg kg⁻¹); EANMS: eficiencia aparente del N (kg MS kg⁻¹ N aplicado); letras diferentes dentro de la misma fila y para cada efecto señalan valores que difieren significativamente (P<0,05)

Pérdidas de N amoniacal del purín

Las pérdidas de N amoniacal del purín estimadas por el método ALFAM y ALFAM2, fueron del 40,5 % y del 15 % como valor medio en el conjunto de tratamientos para las aplicaciones en abanico e inyección respectivamente. Estos porcentajes representaron pérdidas de 10,2 y 3,8 kg de N amoniacal por hectárea.

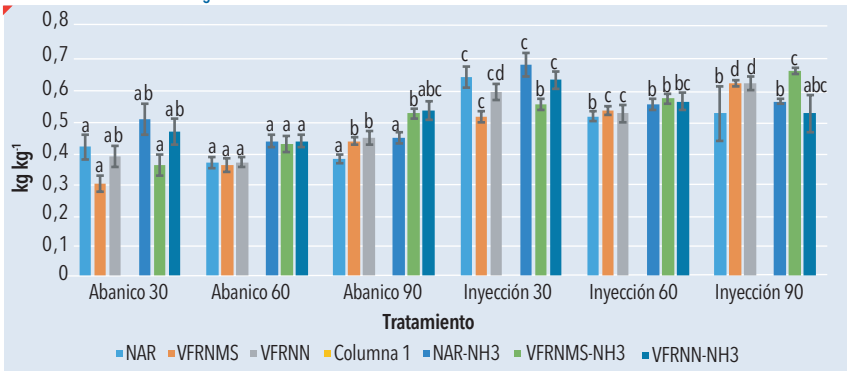
Nitrógeno aparentemente recuperado (NAR) y eficiencia aparente del nitrógeno (EAN_{MS})

El NAR del purín fue menor cuando se aplicó con abanico (P<0,05), intermedio con la inyección y mayor con nitrato amónico cálcico, inde-

pendientemente de si se contabilizasen o no las pérdidas de N amoniacal del purín (tabla 5). El NAR no fue diferente entre dosis de N cuando se aplicó purín en abanico y sí mayor (P<0,05) en inyección a la dosis de 30 kg N ha⁻¹ que a las dosis de 60 y 90 kg N ha⁻¹ (figura 2).

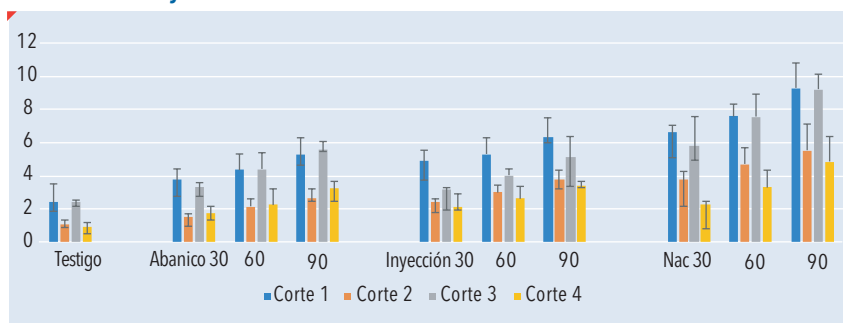
El nitrógeno aparentemente recuperado con el fertilizante químico fue un 59,8 % y 41,2 % mayor (P<0,05) que en abanico e inyección respectivamente. En general, el NAR no mostró cambios significativos para aplicaciones en abanico (R²=0,03); -0,002 kg por kg de N aplicado en inyección (R²=0,36) y -0,004 kg con nitrato amónico cálcico (R²=0,63). Igualmente, el NAR ►

Figura 2. Nitrógeno aparentemente recuperado (NAR); valor fertilizante de reemplazo del N para la producción de materia seca con o sin pérdida de N amoniacal (VFNNMS y VFNNMS-NH₃); valor fertilizante de reemplazo del consumo de N para el N con o sin pérdida de N amoniacal (VFNN-NH₃)



Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,05)

Figura 3. Variaciones en la concentración de nitratos (NO_3) en el forraje para los diferentes tratamientos y número de corte



► EL NAR DEL PURÍN FUE MENOR CUANDO SE APLICÓ CON ABANICO, INTERMEDIO CON LA INYECCIÓN Y MAYOR CON NITRATO ARMÓNICO CÁLCICO

se redujo 0,007 kg por unidad porcentual de amoníaco perdido ($R^2=0,57$).

La eficiencia aparente del nitrógeno para la materia seca (EANMS), sin considerar las pérdidas de N amoniacal del purín, fue diferente según el método de aplicación y la dosis de nitrógeno (tabla 5). En este caso, fue un 63,5 % inferior en abanico y un 43,5 % en inyección respecto al fertilizante mineral. Independientemente del N aplicado, la EANMS fue 2,9 kg MS kg^{-1} de N inferior cuando se contabilizaron las pérdidas de N amoniacal en abanico y 1,5 kg inferior en inyección (tabla 5).

La concentración de nitratos del forraje aumentó con la dosis de fertilizante nitrogenado (tabla 5), con valores medios de $4,14 \pm 1,5$ (d.t.) g kg^{-1} MS, mínimos de $1,09 \pm 0,27$ g sin nitrógeno en el segundo aprovechamiento y máximos de $9,3 \pm 1,5$ con nitrato amónico cálcico a la dosis de 90 kg N por hectárea en el primer corte (figura 3). El raigrás fertilizado con NAC del 27 % concentró un 42,9 % más de nitratos

que en abanico y un 33,1 % más que en inyección ($P<0,05$), sin diferencias significativas entre los dos sistemas de aplicación de purín. En conjunto, los contenidos de nitratos del forraje incrementaron 0,036 g por kilo de N aplicado ($R^2=0,45$ $P<0,001$); 0,027 g ($R^2=0,89$ $P<0,001$) en abanico; 0,023 g ($R^2=0,82$ $P<0,001$) en inyección y 0,042 g ($R^2=0,75$ $P<0,001$) con nitrato amónico cálcico. Tras la aplicación de nitrógeno, las concentraciones de nitratos del forraje aumentaron un 47 % como valor medio respecto al siguiente aprovechamiento (figura 3), observándose relaciones significativas entre el contenido de nitrato y el NAR de $R^2=0,33$ equivalentes a 3,12 g $\text{NO}_3^- \text{kg}^{-1}$ NAR.

Las concentraciones de nitratos del forraje fueron un 47 % superiores como valor medio de conjunto entre tratamientos en los cortes previamente fertilizados (figura 3), observándose relaciones significativas entre el contenido de nitratos del raigrás y el NAR de $R^2=0,33$ equivalentes a 3,12 g $\text{NO}_3^- \text{kg}^{-1}$ NAR (figura 4). ►►

Figura 4. Relación entre la concentración de nitrato del forraje y el nitrógeno aparentemente recuperado

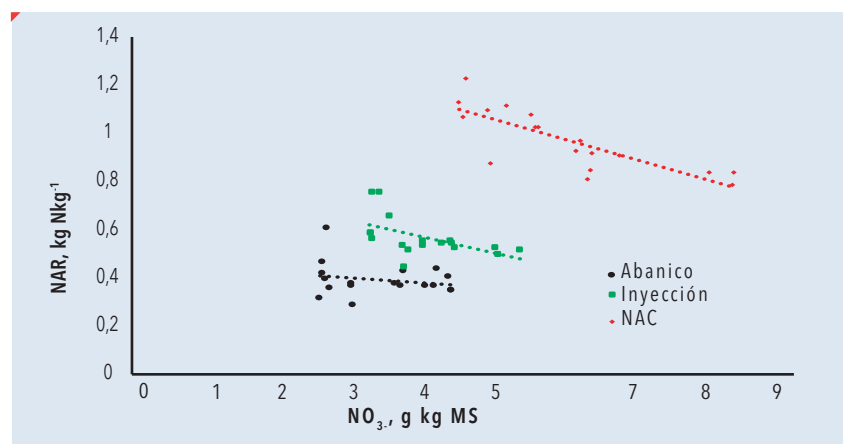


Tabla 6. Valor fertilizante nitrogenado de reemplazo del purín

Método	Dosis					Significación		
	Abanico	Inyección	30	60	90	Sistema	Dosis	S*D
VFRNMS, kg kg ⁻¹	0,37	0,57	0,41a	0,45a	0,53b	***	***	ns
VFRNN, kg kg ⁻¹	0,41	0,59	0,49ab	0,45a	0,54b	***	***	ns
Considerando las pérdidas de N-NH ₃ del purín								
VFRNMS, kg kg ⁻¹	0,44	0,60	0,46a	0,51a	0,60b	***	***	ns
VFRNN, kg kg ⁻¹	0,49	0,58	0,56	0,51	0,54	***	ns	ns

S: materia seca (kg ha⁻¹); N: nitrógeno consumido (kg ha⁻¹); NO₃-forraje: g kg⁻¹ MS; NAR: nitrógeno aparentemente recuperado (kg kg⁻¹); EANMS: eficiencia aparente del N (kg MS kg⁻¹ N aplicado); letras diferentes dentro de la misma fila y para cada efecto señalan valores que difieren significativamente (P<0,05)

Valor fertilizante de reemplazo del purín

El valor fertilizante de reemplazo del purín para la producción de materia seca (VFRNMS) y el consumo de nitrógeno (VFRNN), sin considerar las pérdidas de amoníaco, fueron de 35,1 % y de 30,5 % superiores en inyección respecto a las aplicaciones en abanico (tabla 6). Independientemente de si se contabilizan o no las pérdidas de N-NH₃, el VFRNMS para los sistemas en abanico e inyección fue similar a las dosis de 30 y 60 kg N ha⁻¹ pero diferente la de 90 kg (figura 2), con rangos variables de 0,30 kg kg⁻¹ con 30 kg de N en abanico a 0,63 kg kg⁻¹ en inyección y 90 kg N ha⁻¹. Por otro lado, el VFRNN fue diferente entre tratamientos (tabla 6) con mínimos de 0,37 kg kg⁻¹ en abanico a la dosis de 60 kg N ha⁻¹ y máximos de 0,63 kg en inyección con 90 kg N por hectárea (figura 3) sin contabilizar las pérdidas de N amoniacal del purín.

DISCUSIÓN

Producción de materia seca y N consumido

Los rendimientos anuales de materia seca y nitrógeno a las dosis de 30 kg N mineral ha⁻¹, 90 kg de N de purín aplicado en abanico o 60 kg de N en inyección, fueron similares a los señalados en un experimento previo por Salcedo (2011), 5165 kg MS y 134 kg N ha⁻¹, también con la variedad Agraco-812 y fertilizando con 45 kg de N mineral en fondo y aprovechado para ensilado en un solo corte.

Las diferencias de producción entre el purín inyectado o esparcido en abanico fueron de 540 kg de materia seca y 10 kg de N ha⁻¹, impu-

tables en parte a la menor pérdida de N amoniacal, 3,8 kg ha⁻¹, en el primero que en el segundo, 10,2 kg ha⁻¹, según las estimaciones realizadas con el modelo ALFAM (Søgaard *et al.*, 2002). Los trabajos de Lalor *et al.* (2011) también obtuvieron diferencias significativas en la producción de hierba con aplicadores de purín de bajas emisiones (zapatas traseras), respecto a la aplicación con plato o abanico, sin considerar las pérdidas de N amoniacal. Hoekstra *et al.* (2010) también apreciaron diferencias significativas entre sistemas de aplicación de purín después del primer corte en praderas, con rendimientos medios de 3,4 t MS ha⁻¹ sin purín hasta 4,3 t en abanico, 4,5 con zapatas traseras y 4,9 t con mangueras colgantes, sin efectos residuales en los siguientes aprovechamientos de primavera. Por el contrario, Rodhe y Rammer (2002) no apreciaron diferencias de rendimiento entre aplicaciones de purín inyectado o en abanico. Incluso Rahman *et al.* (2001) y Mattila *et al.* (2003) señalaron respuestas de producción inferiores en inyección respecto a las aplicaciones en superficie. Esta diversidad de resultados podría estar relacionada con la variabilidad existente en aspectos tales como el clima, la textura de los suelos, su contenido en N, la dilución del purín o los equipos de inyección, entre otros factores.

Nitrógeno aparentemente recuperado y eficiencia aparente del N

Coincidiendo con los resultados de Kayser *et al.* (2015), el NAR en este trabajo fue mayor con abono mineral que con purín, reduciéndose la diferencia al incrementar la dosis

de nitrógeno y no superando 0,75 kg N kg⁻¹ para el fertilizante mineral o 0,67 kg N kg⁻¹ para el purín inyectado. Por su parte, Schils y Kok (2003) en praderas de Holanda obtuvieron valores superiores a 0,79 kg N kg⁻¹ para el nitrato amónico cálcico, mientras que con purín inyectado su rango de valores fue de 0,45 a 0,76 y con aplicaciones en abanico de 0,29 a 0,61.

Lalor *et al.* (2011) obtuvieron en praderas diferencias de 0,09 kg de nitrógeno aparentemente recuperado a favor del purín aplicado con zapatas traseras respecto al abanico. Las escasas diferencias de NAR para los sistemas de plato y de zapatas traseras señaladas por estos autores respecto a los valores para inyección del presente experimento, son atribuidas a una mayor exposición del purín al aire con el sistema de zapatas traseras, lo que puede incrementar las emisiones de N amoniacal (Huijsmans *et al.*, 2001), produciendo consecuentemente un menor NAR. Las pérdidas de N amoniacal simuladas con el modelo ALFAM para el sistema de zapatas traseras en las mismas condiciones de nuestro experimento fueron del 20,3 % y del 15,1 % para la inyección, lo que pudiera explicar la menor diferencia de NAR en los métodos de aplicación analizados por Lalor *et al.* (2011).

De Boer (2013) recomienda mejorar las estimaciones de las emisiones N amoniacal mediante su complementación con el cálculo del nitrógeno aparentemente recuperado. Los valores de emisión del N amoniacal estimados por el modelo ALFAM del presente experimento fueron del 40,5 % en abanico y

► LA MAYOR DISPONIBILIDAD DEL N EN EL NITRATO AMÓNICO CÁLCICO PUDO SER LA CAUSA DE LA MAYOR CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL FORRAJE

del 15 % en inyección, similares a 49 % y 13 % respectivamente, señalados por De Boer (2013) en Holanda para los mismos sistemas de aplicación. Los factores de emisión del N amoniacal pueden ser estimados con mayor precisión cuando las diferencias de emisión entre los sistemas de aplicación de purín se comparan con las diferencias de NAR (De Boer, 2013). La diferencia de NAR en inyección respecto al abanico del presente experimento fue de 17,8 unidades porcentuales, mientras que el porcentaje de N amoniacal respecto al N total fue del 42,6 %, similar al 40,5 % del N amoniacal perdido en la aplicación en abanico. Sin embargo, otros factores como la inmovilización temporal de N amoniacal del purín en el suelo (Burger y Venterea, 2008), lixiviados (Schröder *et al.*, 2010) o emitido en forma gaseosa como amoniaco (Velthof *et al.*, 1997) deben también considerarse.

Los resultados de NAR del presente trabajo se sitúan en el rango señalado por Schils y Kok (2003) de 0,44 kg en inyección y 0,30 kg en abanico; de 0,15 a 0,62 kg en praderas para los sistemas de plato y zapatas traseras (Hoekstra *et al.*, 2010), y de 0,23 a 0,5 kg en inyección y 0,23 a 0,45 con plato (Mattila *et al.*, 2003), también en praderas.

Coincidiendo con Flores *et al.* (2015), la eficiencia aparente del N (EANMS) disminuyó al aumentar el aporte de N, independientemente del tipo de fertilizante. Sin embargo, nuestros resultados para aplicaciones con abanico e inyección fueron superiores a los indicados por Flores *et al.* (2015) de 12,2 y 10,3 kg MS kg⁻¹ N respectivamente,

en la asociación de raigrás italiano con trébol. Factores como su menor contenido de N del purín 1,41 g kg⁻¹ respecto a 3,78±0,18 g kg⁻¹ del presente experimento, o bien alguna posible interacción con el N fijado por las leguminosas, pudieran explicar estas diferencias. Del mismo modo, las eficiencias del fertilizante mineral en nuestro experimento, 19,6 kg MS kg⁻¹ N, fueron superiores a las indicadas por Flores *et al.* (2015): 12,4 kg MS kg⁻¹ nitrógeno..

Valor fertilizante de reemplazo

Los valores medios del valor fertilizante de reemplazo para la materia seca (VFRNMS) y para el nitrógeno (VFRNN) para aplicaciones con abanico e inyección fueron de 0,37-0,57 y 0,41-0,59 kg kg⁻¹ N respectivamente. De igual forma a lo descrito por Kayser *et al.* (2015), el mayor NAR del purín inyectado respecto al abanico explica su mayor VFRNN, imputable a la menor pérdida de N amoniacal. Sin embargo, nuestro VFRNN fue menor al de 0,79 kg kg⁻¹ señalado por Kayser *et al.* (2015). Por su parte, Schröder *et al.* (2007) indicaron que la menor pérdida de N amoniacal en inyección no compensa los daños mecánicos causados por el disco del equipo de aplicación. Pese a este inconveniente, Schröder *et al.* (2010) establecieron valores más moderados de 0,6 kg respecto a los señalados por Kayser *et al.* (2015) para aplicaciones en inyección.

La diferencia de 0,20 kg kg⁻¹ para VFRNMS y de 0,18 kg kg⁻¹ el VFRNN con purín inyectado respecto al aplicado en abanico puede tener su origen en la menor pérdida de N amoniacal. Los resultados aquí obtenidos son superiores a los señalados por Lalor *et al.* (2011) de 0,10 y 0,10 kg kg⁻¹ en el primer aprovechamiento de la pradera con aplicador de zapatas traseras y abanico respectivamente (0,06 y 0,05 kg kg⁻¹ para el experimento completo). El VFRNMS para las asociaciones de raigrás italiano y trébol señalado por Flores *et al.*, (2015) fue de 0,62 kg/kg⁻¹, sin diferencias entre las dosis empleadas de 50 o 100 kg N ha⁻¹ similares al de 0,63 kg kg⁻¹ del presente trabajo con inyección y 90 kg N ha⁻¹. Estas observaciones difieren de las de Schröder *et al.* (2007), que señalan

laron aumentos desde el 51-53 % del VFRNMS cuando el purín se aplica por primera vez, a aproximadamente el 70 % después de 7-10 aplicaciones anuales.

Contenido de nitratos en el forraje

La mayor disponibilidad del N en el nitrato amónico cálcico pudo ser la causa de la mayor concentración de nitratos en el forraje. Marschner (1998) señala que las plantas preferentemente absorben el nitrógeno en forma de nitrato (NO₃) o de amonio (NH₄). Con frecuencia, el nitrato aumenta con el nivel de fertilización nitrogenada (Wretschmer, 1958) y disminuye cuando las plantas maduran (Crawford, 1961). La concentración media de nitrato en planta observado en los diferentes tratamientos fue 4,14±1,5 g kg⁻¹ MS, inferior a las señaladas por Nichol (2007), quien considera que concentraciones inferiores a 10 g NO₃ kg MS no son problemáticas para el ganado. Este autor señala que valores de NO₃ superiores a 20 g kg⁻¹ MS podrían resultar tóxicas para los animales. Según Nichol *et al.* (2003), la intoxicación por nitrato puede aparecer en vacas secas alimentadas con forrajes de invierno. La misma se produce como consecuencia de la conversión del nitrato en nitrito (NO₂) por los microbios del rumen a una velocidad más alta que la de formación de amoniaco (Nichol, 2007).

CONCLUSIONES

La mayor producción de materia seca, de nitrógeno, la eficiencia aparente del N, el N aparentemente recuperado y la concentración de nitrato en el forraje fueron superiores con abono mineral. La menor pérdida de amoniaco del purín se registró en el sistema de aplicación localizada por inyección, presentando las mejores eficiencias en la utilización del N comparados con el método del abanico. El N del purín aplicado en inyección puede reemplazar el 59 % del N mineral en raigrás italiano.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio Agroalimentario de Santander y, en especial, a Marceliano Sarmiento por los análisis de nitratos. ■

BIBLIOGRAFÍA

- BURGER M. Y VENTEREA R. (2008). Nitrogen immobilization and mineralization kinetics of cattle, hog, and turkey manure applied to soil. *Soil Science Society of America Journal*, 72, 1570-1579.
- CRAWFORD R.F., KENNEDY W.K. Y JOHNSON W.C. (1961). Some factors that affect nitrate accumulation in forages. *Agronomy Journal*, 53 (3), 159-162.
- De BOER H. (2013). Accurate estimation of ammonia emissions after manure application: an interdisciplinary approach. In- forme disponible en red. <https://www.foodlog.nl/files/achtergrond/DeBoer2.pdf>. Consulta: 15 agosto 2018
- DOWLING C., CURRAN T. Y LANIGAN, G. (2008) The effect of application technique and climate conditions on ammonia emissions from cattle slurry. *Proceedings of the Agricultural Research Forum*, Tullamore, p.5
- FLORES-CALVETE G., VALLADARES-ALONSO J., PEREIRA- CRESPO S., RECH-ZAFRA C., DAGNAC T., DIAZ-DIAZ N., AGUION-SANDA A., VEIGA-LÓPEZ M. Y BOTANA-FER- NÁNDEZ A. (2015). Productividad y composición nutricional de un cultivo invernal de raigrás italiano y leguminosas anuales con diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada. *AFRIGA*, AÑO XXI, No 120, 94-111.
- HAFNER S., PACHOLSKI A., BITTMAN S., BURCHILL W., BUS- SINK W., CHANTIGNY M., CAROZZI M., GÉNERMONT S., HÄNI C., HANSEN M., HUIJSMANS J., HUNT D., KUPPER T., LANIGAN G., LOUBET B., MISSELBROOK T., MEISINGER J., NEFTTEL A., NYORD T., PEDERSEN S., SIN- TERMANN J., THOMPSON R., VERMEULEN B., VESTERGAARD A., VOYLOKOV P., WILLIAMS J. Y SOMMER S. (2018). The ALFAM2 database on ammonia emission from field-applied manure: Description and illustrative analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 258, 66-79.
- HOEKSTRA N., LALOR S., RICHARDS K., O'HEA N., LANIGAN G., DYCKMANS J., SCHULTE R. Y SCHMIDT O. (2010). Slurry 15NH₄-N recovery in herbage and soil: effects of application method and timing. *Plant Soil*, 330, 357-368.
- HUIJSMANS J.F.M., HOL J.M.G. Y HENDRIKS M.M.W. (2001). Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 49 (4), 323-342.
- KAYSER M., BREITSAMETER L., BENKE M. Y ISSELSTEIN J. (2015). Nitrate leaching is not controlled by the slurry application technique in productive grassland on organic-sandy soil. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 35 (1), 213-223.
- LALOR S., SCHRÖDER J., LANTINGA E., OENEMA O., KIR- WAN L. Y SCHULTE R. (2011). Nitrogen fertilizer replacement value of cattle slurry in grassland as affected by method and timing of application. *Journal of Environmental Quality*, 40 (2), 362-373.
- LALOR S.T. Y SCHULTE R. P. (2008) Low-ammonia-emission application methods can increase the opportunity for application of cattle slurry to grassland in spring in Ireland. *Grass and Forage Science*, 63, 531-544.
- MARSCHNER, H. (1998). Mineral Nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, 889 p.
- MATTILA P.K., JOKI-TOKOLA E. Y TANNI R. (2003). Effect of treatment and application technique of cattle slurry on its utilization by ley: II. Recovery of nitrogen and composition of herbage yield. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 65, 231-242.
- MISSELBROOK T.H., GILHESPY S.L. Y YAMULK, S. (2006). Influence of application rate and method on nitrogen losses from slurry applied to grassland. En: Petersen, S.O (ed.) *Proceedings of 12th RAMIRAN International Conference*, "Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective. DIAS Report No. 123, Vol II, Danish Institute of Agricultural Sciences, Tjele, 11-13 September 2006. pp. 281-283.
- MÖLLER K. Y MÜLLER T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12, 242-57.
- NICHOL W., WESTWOOD C., DUMBLETON A. Y AMYES, J. (2003). Brassica wintering for dairy cows: overcoming the challenges. pp. 154-172. In: *Proceedings of the South Island Dairy Event (SIDE)*, Canterbury, New Zealand. South Island Dairy Event, Canterbury, New Zealand.
- NICHOL W.W. (2007). Nutritional disorders of ruminants caused by consumption of pasture and fodder crops. pp 133- 149. En: *Pastures and supplements for grazing livestock*. Ed. Rattray, P.V.
- PETERSEN J. (2003). Nitrogen fertilizer replacement value of sewage sludge, composted household waste and farmyard manure. *Journal of Agricultural Science*, 140, 169-82.
- RAHMAN S., CHEN Y., ZHANG Q., TESIER S. Y BAIDOO S. (2001). Performance of a liquid manure injector in a soil bin and on established forages. *Canadian Biosystems Engineering*, 43, 233-240.
- REIJUS J.W., SONNEVELD M.P.W., SØRENSEN P., SCHILS R.L.M., GROOT J.C.J. Y LANTINGA E.A. (2007). Effects of different diets on utilization of nitrogen from cattle slurry applied to grassland on a sandy soil in The Netherlands. *Agriculture Ecosystems Environment*, 118, 65-79.
- RODHE L., Y RAMMER. C. (2002). Application of slurry to ley by band spreading and injection methods. *Biosystems Engineering*, 83, 107-118.
- SALCEDO G. (2011). Producción, contenido en principios nutritivos y composición en ácidos grasos del cultivo de *Lolium multiflorum* solo o asociado a *Trifolium*. *Pastos*, 41 (2), 191-209.
- SCHILS R. Y KOK I. (2003). Effects of cattle slurry manure management on grass yield. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 51-1/2.
- SCHRÖDER J.J., UENK D. Y HILHORST G.J. (2007). Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant Soil*, 299, 83-99.
- SCHRÖDER J.J., ASSINCK F.B.T., UENK D. Y VELTHOF G.L. (2010). Nitrate leaching from cut grassland as affected by the substitution of slurry with nitrogen mineral fertilizer on two soil types. *Grass Forage Science*, 65, 49-57.
- SINTERMANN J., NEFTTEL A., AMMANN C., HÄNI C., HENSEN A., LOUBET B. Y FLECHARD C.R. (2012). Are ammonia emissions from field-applied slurry substantially overestimated in European emission inventories?. *Bio-geosciences*, 9, 1611-1632.
- SØGAARD H.T., SOMMER S.G., HUTCHINGS N.J., HUIJSMANS J.F.Y NICHOLSON F. (2002). Ammonia volatilization from field applied animal slurry - the ALFAM model. *Atmospheric Environment*, 36 (20), 3309-3319.
- SØRENSEN P., WEISBJERG M.R.Y LUND P., (2003). Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. *Journal of Agricultural Science*, 141, 79- 91.
- SPSS. (2006). SPSS for Windows, version 15.0 Ed, SPSS Inc., Chicago (USA).
- VELTHOF G.L., OENEMA, O., POSTMA R. Y VAN BEUSICHEM M.L. (1997). Effects of type and amount of applied nitrogen fertilizer on nitrous oxide fluxes from intensively managed grassland. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 46, 257-267.
- WEBB J., SØRENSEN P., VELTHOF G., AMON B., PINTO M., RODHE L., SALOMON E., HUTCHINGS N., BURCZYK P. Y REID J. (2013). An assessment of the variation of manure nitrogen efficiency throughout Europe and an appraisal of means to increase manure-N efficiency. *Advances in Agronomy*, 119, 371-442.
- WRETSCHMER A.E. (1958). Nitrate Accumulation in Everglades Forages. *Agronomy Journal*, 50 (6), 314-316.

Artículo extraído de Salcedo, G., *Revista Pastos*, 47, diciembre 2017, Sociedad Española de Pastos (SEP), 18-28 pp.