



Foto: G. Salcedo

Equipo de inxección de xurro utilizado

Valor fertilizante do xurro segundo a súa forma de aplicación

Neste artigo recóllese o traballo de investigación levado a cabo co obxectivo de analizar a produción e o valor fertilizante de substitución do N do xurro para un cultivo invernol de raigrás italiano, segundo o sistema de aplicación, en abanico ou inxectado, considerando ou non as perdas de amoníaco.

Gregorio Salcedo Díaz
CIFP La Granja, 39792 Heras, Cantabria

RESUMO

Os obxectivos do presente traballo foron estimar o valor fertilizante de substitución do nitróxeno contido no xurro do vacún leiteiro para a produción de materia seca (VFRNMS) e o consumo de N (VFRNN) respecto do fertilizante ni-

trato amónico cálcico (NAC 27 %), así como as perdas de amoníaco cando se aplica en abanico (Ab) ou inxectado (In) nun cultivo forraxeiro de raigrás italiano tipo alternativo.

O experimento levouse a cabo durante os anos 2011 e 2012 coa variedade Agraco-812 ás doses de N 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹, repartidas en dous momentos. As diferenzas na produción de materia seca por hectárea con NAC respecto ao Ab-In foron de 1372-939 kg MS ha⁻¹; o ni-

trógeno consumido de 32-22 kg ha⁻¹; a eficiencia aparente do N de 25,1-17,2 kg MS kg⁻¹ N e o nitrógeno aparentemente recobrado de 0,58-0,4, kg N kg⁻¹ N, respectivamente. As perdas de nitrógeno amoniacal foron un 62,9 % menores en inxección que en abanico. O VFRNMS e VFRNN foi un 20 % e 18 % superiores en inxección respecto ao abanico. Estas porcentaxes incrementáronse un 7 % e 8 % cando se consideraron as perdas de nitrógeno amoniacal.



► A DECISIÓN DO TIPO DE FERTILIZANTE A EMPREGAR É IMPORTANTE PARA REDUCIR OS CUSTOS DE PRODUCCIÓN E MINIMIZAR AS PERDAS DE AMONÍACO

INTRODUCCIÓN

A rotación máis utilizada nas explotacións leiteiras do norte de España é a formada por millo (*Zea mays* L.) como cultivo de verán principal e raigrás italiano (*Lolium multiflorum* L.) no inverno. A maioría dos gandeiros aproveítano para ensilado nun só corte e unha minoría dan un corte para consumo en verde e un segundo como ensilado ou utilízano unicamente en verde. Aumentar o número de cortes nun cultivo de curta duración (xaneiro-abril) require fornecer fertilizante nitróxeno para aumentar a súa produtividade e garantir a súa rendibilidade. A decisión do tipo de fertilizante a empregar é importante para reducir os custos de produción e minimizar as perdas de amoníaco, debéndose tamén axustarse á lexislación vixente (ver artigo cuarto do Real Decreto 980/2017).

As emisións de amoníaco procedentes da aplicación de xurro contribúen á contaminación do aire, á degradación dos ecosistemas, á perda de nitróxeno reactivo dos sistemas agrícolas (Hafner *et al.*, 2018) e á eutrofización e acidificación dos solos (Sintermann *et al.*, 2012). Entre outras, unha forma de valorar o contido de nitróxeno útil do xurro fresco do vacún é a través do cálculo da recuperación aparente de N (NAR) e o valor fertilizante de substitución do N (VFRN). Este último defínese como o factor polo cal se debe multiplicar o N do fertilizante orgánico para proporcionar unha resposta equivalente á obtida cun fertilizante de referencia (Petersen, 2003), normalmente mineral. Ambos os índices poden ser calculados a partir do seu contido de N amoniacal. O valor fertilizante do N debe contabilizarse nos plans de fertilización polo nitróxeno aparentemente recobrado (NAR) ou polo seu valor fertilizante de substitución do N (VFRN). O VFRN considérase unha medida de calidade máis xeral que o NAR, porque permite comparar os valores dos fertilizantes orgánicos en diferentes condicións edafoclimáticas.

Experimentos con xurros non tratados (Sørensen *et al.*, 2003; Reijs *et al.*, 2007 e Webb *et al.*, 2013) demostran que o N dispoñible do xurro para o cultivo durante o primeiro ano se atopa próximo á súa porcentaxe de amoníaco. Pola súa banda, Möller e Müller (2012) sinalan que o VFRN do xurro é similar ao seu contido en amoníaco. A eficiencia no uso do N está influenciada polo método e o momento de aplicación (Hoekstra *et al.*, 2010), pola taxa de aplicación (Misselbrook *et al.*, 2006) e polas condicións climáticas e edáficas (Dowling *et al.*, 2008; Lalor e Schulte, 2008). Baixas eficiencias de utilización do N do xurro asóciase a taxas 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

Táboa 1. Datos meteorolóxicos durante o crecemento do cultivo (2011-2012) e a media de temperaturas e precipitacións no período 1984-2010

Precipitación (mm)			Temperatura °C			
			Media das máximas		Media das mínimas	
	1984-2010	2011-2012	1984-2010	2011-2012	1984-2010	2011-2012
Xaneiro	54,18	53,67	13,53	13,60	5,76	5,88
Febreiro	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
Maio	46,01	44,80	19,17	19,20	11,6	11,14
Xuño	35,22	34,38	21,52	21,64	13,98	13,94
Xullo	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
Setembro	36,52	35,28	22,76	23,06	14,39	14,42
Outubro	65,05	62,08	20,39	20,73	11,90	11,89
Novembro	85,01	87,29	16,22	16,39	8,70	8,80
Decembro	61,41	64,31	14,21	14,30	6,63	6,68

Fonte: Axencia Estatal de Meteoroloxía

► UNHA FORMA DE VALORAR O CONTIDO DE NITRÓXENO ÚTIL DO XURRO FRESCO DO VACÚN É A TRAVÉS DO CÁLCULO DA RECUPERACIÓN APARENTE DE N (NAR) E O VALOR FERTILIZANTE DE SUBSTITUCIÓN DO N

MATERIAL E MÉTODOS

Localización

O experimento desenvolveuse na finca de prácticas do CIFP La Granja, Cantabria (43° 24'N; 3° 45'W e 5 m sobre o nivel do mar) durante os anos 2011 e 2012. As características do solo foron: textura franco-arxilo-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; capacidade de intercambio catiónico 18,6 mEq/100 g chan. A temperatura e pluviometría durante os anos de estudo indícanse na táboa 1

Deseño experimental e tratamentos

O deseño experimental foi de bloques completos ao azar de acordo con parcelas divididas e tres repeticións, cunhas dimensións de 2 x 15 m para a parcela elemental. A parcela principal consistiu en tres tipos e métodos de aplicación de nitróxeno: i) nitróxeno amónico cálcico (NAC) do 27 % aplicado en superficie; ii) xurro de vacún leiteiro sen localizar e aplicado na modalidade de abanico e iii) xurro inxectado. A subparcela consistiu en catro doses de N: 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹.

Operacións de cultivo

A preparación do terreo consistiu en dous pases cruzados de fresadora os días 4 e 5 de outubro de 2010, e 22 e 23 de setembro de 2011. O raigrás fertilizado con NAC recibiu ademais 7, 14 e 21 kg/ha de P₂O₅ e 13, 36 e 39 kg/ha de K₂O como fertilizado de fondo nos tratamentos 30, 60 e 90 kg N ha⁻¹ para equilibrar a achega de P₂O₅ e K₂O do xurro.

O raigrás italiano tipo alternativo (cv. Agraco-812) foi sementado cunha sementadora de chorrillo Amazone o 6 de outubro de 2010 e o 27 de setembro de 2011 á dose de 40 kg de semente por hectárea. Seguidamente, pasouse un rodete *cultipacker* para nivelar o terreo e minimizar os efectos da posible contaminación por terra da forraxe nas mostraxes e a sega final.

A dose de N establecida no experimento fraccionouse en dúas aplicacións os días 11 de xaneiro e 4 de marzo de 2011; 20 de decembro e 27 de febreiro en 2012. O xurro aplicado en abanico foi repartido manualmente cunha mangueira disposta na cuba e proxectado cunha inclinación de 45° respecto ao solo. O xurro inxectado foi aplicado cun equipo de inxección de 12 saídas e 2,5 m de ancho (foto 1). ►►

Tabla 2. Composición química do xurro

	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

► A PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA E O CONSUMO DE NITRÓXENO FORON UN 9,1 % E 8,6 % SUPERIORES CON XURRO INXECTADO RESPECTO AO APLICADO CON ABANICO (P<0,05)

As doses do xurro aplicado en abanico foron axustadas previamente segundo o caudal de saída e o tempo empregado en chegar cada dose. O inxectado axustouse mediante peches e aperturas das gomas desde o triturador ata a bota do equipo de inxección. Días antes á aplicación de xurro tomáronse mostradas recollidas directamente da cuba para analizar o seu contido en N e así axustar o volume de xurro a aplicar. A composición química do xurro vén sinalada na táboa 2.

O raigrás foi aproveitado os días 2 de febreiro, 4 de marzo, 5 de abril e 3 de maio en 2011, e o 13 de xaneiro, 27 de febreiro, 29 de marzo e 26 de abril en 2012, sempre en estado vexetativo maduro. Dentro de cada subparcela e tratamento segouse unha superficie de 2 x 1 m cunha barra gadañadora (BCS, tipo BF80/175) de 1 m de corte a 5 cm do chan para estimar a biomasa forraxeira final por hectárea. Máis tarde, todas as parcelas foron segadas con segadora-acondicionadora Claas Disco 2650 C. Dentro de cada superficie de mostraxe tomáronse alicuotas de aproximadamente 1000 g de forraxe, dos cales 100 g serviron para determinar a materia seca en estufa a 60 °C durante 48 horas e predicir a materia seca final por hectárea. O resto foi secado igualmente, moído a 1 mm cun muíño Retsch e conservado en colectores de plástico herméticos de 250 ml para análises posteriores.

Determinacións analíticas do xurro e do raigrás

A materia seca do xurro determinouse tras o seu secado en estufa a 60 °C

durante 48 horas. O N total e amoniacal determináronse co KjeltecTM 2300 de TECATOR sobre material fresco, previamente axitado. A materia seca final do raigrás a 103 °C e o N total estimouse como N-Kjeldahl co KjeltecTM 2300 de TECATOR. O contido de nitratos determinouse no Laboratorio Agroalimentario de Santander por cromatografía líquida, utilizando unha columna de intercambio iónico e un detector de ultravioleta a unha lonxitude de onda de 204 nm, previa extracción en auga quente tratada con acetónitrilo para eliminar substancias interferentes.

Cálculos

a. Valor fertilizante de substitución

A materia seca do raigrás de cada aproveitamento e o seu contido en N foron acumulados cada ano para estimar o N consumido con fertilizante (NCf) ou xurro (NCp) por hectárea segundo a ecuación:

N consumido (NC_{fop}) kg ha⁻¹ = Σ (MS, kg ha⁻¹ x N da forraxe, kg kg⁻¹ MS e aproveitamento

As relacións entre o rendemento de MS, o consumo de N e a taxa de fertilizante nitroxenado mineral aplicado por ano foron axustadas a un modelo cuadrático:

$$Y(N) = a + bN + cN^2, N < d$$

$$(N) = Y \text{ máx}, N \geq d$$

Onde **Y** é o rendemento de MS (kg ha⁻¹) ou de N (kg ha⁻¹); **a** é o intercepto (rendemento de MS ou de N a 0 kg ha⁻¹ de fertilizante nitroxenado mineral); **b** e **c** son os coeficientes lineais e cuadráticos, respectivamente; **d** é o punto de unión da curva, é dicir, a taxa de N de ►►

fertilizante por riba da cal se obtén un rendemento máximo de MS consumo de N (kg ha⁻¹). Calcúlase como:

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

$Y_{\max}$ é o valor máximo da variable resposta (kg ha⁻¹), calculándose como:

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

O N aparentemente recobrado con fertilizante mineral (NAR_f) ou con xurro (NAR_p) en cada tratamento estimouse a partir das ecuacións:

$$NAR_f (kg^{-1} kg) = (NC \text{ con } f - NC \text{ sen } f) / N_f$$

$$NAR_p (kg^{-1} kg) = (NC \text{ con } p - NC \text{ sen } p) / N_p$$

A eficiencia aparente do N con fertilizante mineral (EAN_f) ou con xurro (EAN_p) para a materia seca foi calculada como:

$$EAN_{MS \text{ f ou p}} (kg \text{ MS } kg^{-1} N) = (MS \text{ con } f - MS \text{ sen } f \text{ ou } p) / N_{f \text{ ou } p}$$

O valor fertilizante de substitución do N (VFRN) calculouse a partir do N recuperado con xurro en relación ao N mineral e a súa expresión está baseada na produción de materia seca (VFRNMS) ou no consumo de N (VFRNN), ambos en kg kg⁻¹ segundo as expresións:

$$VFRN_{MS} = NAR_f = MS_p / NAR_p$$

$$VFRN_N = NAR_f = N_{cp} / NAR_p$$

onde NAF = MS_p é o N mineral requirido para obter unha pro-

dución de materia seca equivalente ao tratamento con xurro (kg ha⁻¹) e NAR_f=NAR_p é o fertilizante mineral N requirido para obter unha absorción de N equivalente á do tratamento con xurro (kg kg⁻¹), e NAR_p é o N total aplicado como xurro (kg ha⁻¹). O NAR_f = NAR_p para cada réplica de tratamento de xurro foi estimado usando a curva de resposta específica de N de cada ano. Finalmente estimáronse o VFRNMS e o VFRNN do xurro despois de restar as perdas de N amoniacal debidas ao sistema de aplicación.

b. Perdas de N amoniacal

As perdas amoniacais do xurro dentro de cada método de aplicación estimáronse cos modelos ALFAM (Søgaard *et al.*, 2002) e ALFAM2 actualizado (Hafner *et al.*, 2018). Estes modelos describen a acumulación de amoníaco volatilizado, N (t), co tempo, t, desde o inicio do experimento. Os inputs do modelo veñen sinalados na táboa 3. A cantidade de N é adimensional, posto que expresa o N amoniacal perdido como a fracción de N aplicado:

$$N(t) = \frac{\text{Perda de NH}_3 \text{ sobre o tempo } t \left(kg \frac{N}{ha} \right)}{\text{Xurro aplicado} \left(\frac{ton}{ha} \right) \text{ contido de N do xurro} \left(kg \frac{N}{ton} \text{ xurro} \right)}$$

Análise estatística

Os resultados da produción de foraxe e nitróxeno total por hectárea foron sometidos a análise da varianza (ANOVA) co programa SPSS v 15.0 (SPSS, 2006), axustando o modelo:

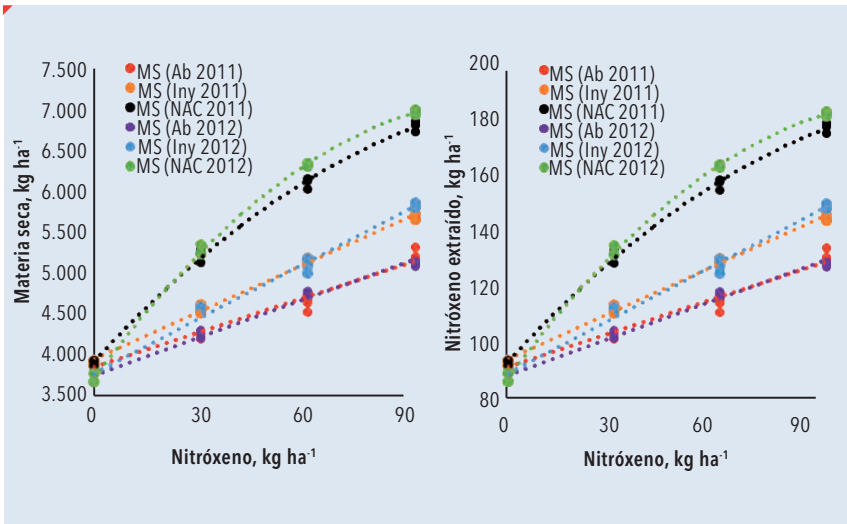
$$Y_{ijk} = \mu + B_k + \alpha_i + \epsilon_{ik} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \delta_{ijk}$$

► ESTA DIVERSIDADE DE RESULTADOS PODERÍA ESTAR RELACIONADA COA VARIABILIDADE EXISTENTE EN ASPECTOS TALES COMO O CLIMA, A TEXTURA DOS SOLOS, O SEU CONTIDO EN N, A DILUCIÓN DO XURRO OU OS EQUIPOS DE INXECCIÓN

Táboa 3. Variables requiridas polo modelo ALFAM

2011		2012			
Aplicacións	1. ^a	2. ^a		1. ^a	2. ^a
Datas de aplicación	11 de xaneiro	5 de marzo		13 de xaneiro	28 de febreiro
Solo (seco/húmido)			Húmido		
Temperatura aire, °C	13,9	9,9		11,9	8,5
Velocidade vento, m s ⁻¹	1,4	3,27		5,8	3,6
Tipo de xurro	Vacún leiteiro				
Xurro, 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 micrometeorolóxica				

Figura 1. Relacións entre o N aplicado, N consumido e produción de materia seca entre anos para aplicación en abanico (Ab), inxección (Iny) e nitrato amónico cálcico (NAC)



▶ A MAIOR PRODUCIÓN DE MATERIA SECA, DE NITRÓXENO, A EFICIENCIA APARENTE DO N, O N APARENTEMENTE RECOBRADO E A CONCENTRACIÓN DE NITRATO NA FORRAXE FORON SUPERIORES CON FERTILIZANTE MINERAL

Táboa 4. Valores dos parámetros da regresión cuadrática que explican o rendemento de materia seca (MS) e a absorción de N en función da taxa de aplicación de fertilizante mineral N para cada ano

Ano	Produción 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 = produción de materia seca a 0 kg ha⁻¹ de NAC

d = punto de unión das curvas (taxa de fertilizante mineral N por riba da cal se obtén o rendemento máximo de MS ou a captación de N) Ymax = máxima produción de materia seca ou máximo consumo de N

Sendo μ : media xeral; Bk: bloque 1, 2 e 3; α_i : parcela maior (xurro convencional, xurro inxectado e nitrato); ϵ_{ik} : erro experimental das parcelas grandes; β_j : parcela menor (0, 30, 60 e 90 kg N ha⁻¹); $\alpha\beta_{ij}$: interacción e δ_{ijk} : erro experimental. As diferenzas entre as medias realizáronse co test de Tukey ao 5 %.

RESULTADOS

Produción de forraxe e consumo de nitróxeno

Os parámetros da regresión non lineal que explican o rendemento de materia seca (MS) e o consumo de N son función do fertilizante nitróxenado mineral aplicado (táboa 4). Os valores de a para as producións de MS e N sen fertilizante foron similares entre anos, con

medias de 3977-91,3 en 2011 e 3762-92,7 kg ha⁻¹ en 2012 respectivamente. Os valores de d para a produción de MS e para o N consumido foron altos, indicando un consumo residual do fertilizante N aplicado despois de cada aproveitamento. Os coeficientes de determinación para a produción de materia seca e do consumo de nitróxeno foron similares entre anos. As relacións entre o N aplicado, o N consumido e a produción de materia seca acumulada preséntanse na figura 1. Os rendementos de MS e a absorción de N ás doses equivalentes de N con xurro foron inferiores aos estimados con fertilizante mineral (táboa 5). ▶▶

Táboa 5. Produción de forraxe, N, contido de nitratos (NO₃) e eficiencias aparentes do N

	Método			Dose					Significación		
	Abanico	Inxección	NAC	0	30		60	90	Sistema	Dose	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	***	***	**
Sen considerar as perdas de NH ₃ do xurro											
NAR	0,39a	0,57b	0,97c	-			0,63a	0,58a	***	***	***
EAN _{MS}	14,4a	22,3b	39,5c	-			24,7a	22,9a	***	***	***
Considerando as perdas de NH ₃ do xurro											
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: nitróxeno consumido (kg ha⁻¹); NO₃-: forraxe: g kg⁻¹ MS; NAR: nitróxeno aparentemente recobrado (kg kg⁻¹); EANMS: eficiencia aparente do N (kg MS kg⁻¹ N aplicado); letras diferentes dentro da mesma fila e para cada efecto sinalan valores que difiren significativamente (P<0,05)

Perdas de N amoniacal do xurro

As perdas de N amoniacal do xurro estimadas polo método ALFAM e ALFAM2, foron do 40,5 % e do 15 % como valor medio no conxunto de tratamentos para as aplicacións en abanico e inxección respectivamente. Estas porcentaxes representaron perdas de 10,2 e 3,8 kg de N amoniacal por hectárea.

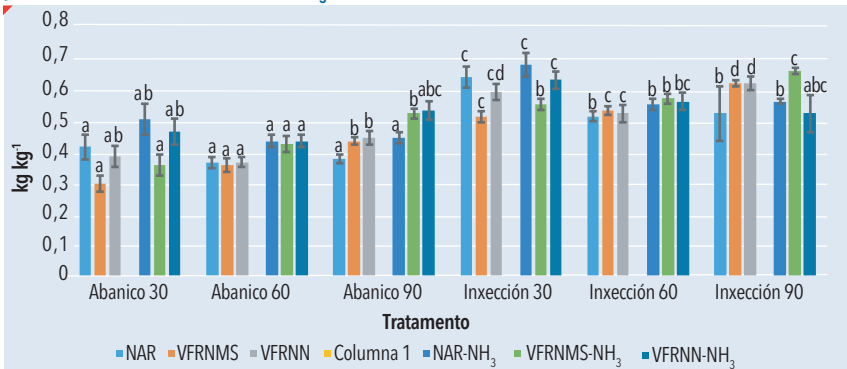
Nitróxeno aparentemente recobrado (NAR) e eficiencia aparente do nitróxeno (EAN_{MS})

O NAR do xurro foi menor cando se aplicou con abanico (P<0,05), intermedio coa inxección e maior con nitrato amoniacal cálcico, independentemente de se se conta-

bilizasen ou non as perdas de N amoniacal do xurro (táboa 5). O NAR non foi diferente entre dose de N cando se aplicou xurro en abanico e si maior (P<0,05) en inxección á dose de 30 kg N ha⁻¹ que ás doses de 60 e 90 kg N ha⁻¹ (figura 2).

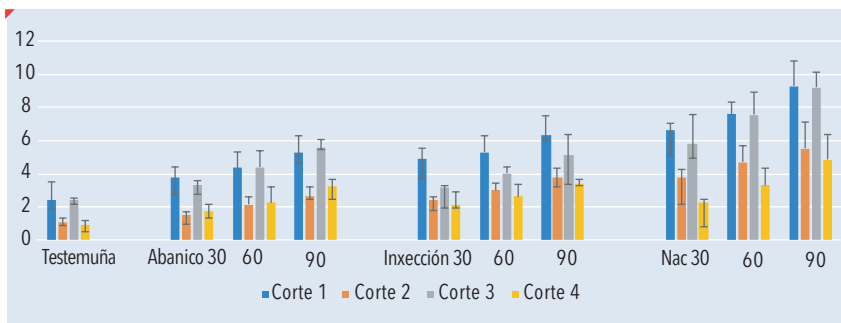
O nitróxeno aparentemente recobrado co fertilizante químico foi un 59,8 % e 41,2 % maior (P<0,05) que en abanico e inxección respectivamente. En xeral, o NAR non mostrou cambios significativos para aplicacións en abanico (R²=0,03); -0,002 kg por kg de N aplicado en inxección (R²=0,36) e -0,004 kg con nitrato amoniacal cálcico (R²=0,63). Igualmente, o NAR se reduciu 0,007 kg ▶▶

Figura 2. Nitróxeno aparentemente recobrado (NAR); valor fertilizante de substitución do N para a produción de materia seca con ou sen perda de N amoniacal (VFN_{MS} e VFN_{MS-NH₃}); valor fertilizante de substitución do consumo de N para o N con ou sen perda de N amoniacal (VFRNN-NH₃)



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

Figura 3. Variacións na concentración de nitratos (NO_3) na forraxe para os diferentes tratamentos e número de corte



► O NAR DO XURRO FOI MENOR CANDO SE APLICOU CON ABANICO, INTERMEDIO COA INXECCIÓN E MAIOR CON NITRATO AMÓNICO CÁLCICO

por unidade porcentual de amoníaco perdido ($R^2=0,57$).

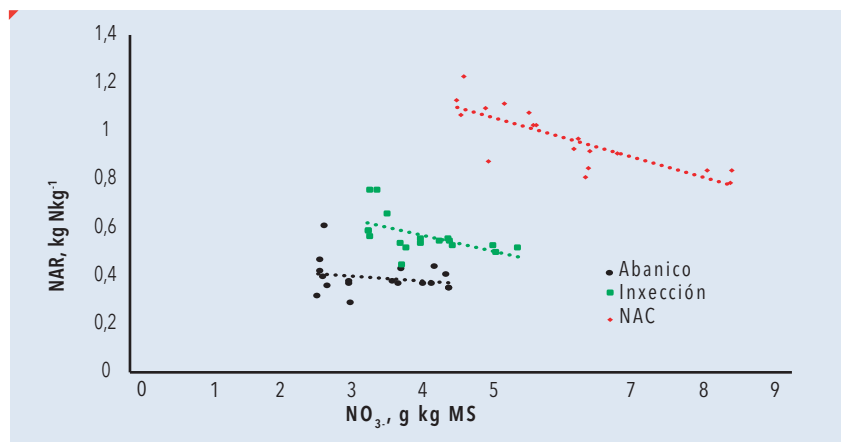
A eficiencia aparente do nitróxeno para a materia seca (EANMS), sen considerar as perdas de N amoniacal do xurro, foi diferente segundo o método de aplicación e a dose de nitróxeno (táboa 5). Neste caso, foi un 63,5 % inferior en abanico e un 43,5 % en inxección respecto ao fertilizante mineral. Independentemente do N aplicado, a EANMS foi $2,9 \text{ kg MS kg}^{-1}$ de N inferior cando se contabilizaron as perdas de N amoniacal en abanico e $1,5 \text{ kg}$ inferior en inxección (táboa 5).

A concentración de nitratos da forraxe aumentou coa dose de fertilizante nitróxeno (táboa 5), con valores medios de $4,14 \pm 1,5$ (d.t.) g kg^{-1} MS, mínimos de $1,09 \pm 0,27 \text{ g}$ sen nitróxeno no segundo aproveitamento e máximos de $9,3 \pm 1,5$ con nitrato amónico cálcico á dose de 90 kg N por hectárea no primeiro corte (figura 3). O raigrás fertilizado con NAC do 27 % concentrou un 42,9 % máis de nitratos que en abanico e un 33,1 %

máis que en inxección ($P<0,05$), sen diferenzas significativas entre os dous sistemas de aplicación de xurro. En conxunto, os contidos de nitratos da forraxe incrementaron $0,036 \text{ g}$ por quilo de N aplicado ($R^2=0,45$ $P<0,001$); $0,027 \text{ g}$ ($R^2=0,89$ $P<0,001$) en abanico; $0,023 \text{ g}$ ($R^2=0,82$ $P<0,001$) en inxección e $0,042 \text{ g}$ ($R^2=0,75$ $P<0,001$) con nitrato amónico cálcico. Tras a aplicación de nitróxeno, as concentracións de nitratos da forraxe aumentaron un 47 % como valor medio respecto ao seguinte aproveitamento (figura 3), observándose relacións significativas entre o contido de nitrato e o NAR de $R^2=0,33$ equivalentes a $3,12 \text{ g NO}_3 \cdot \text{kg}^{-1}$ NAR.

As concentracións de nitratos da forraxe foron uns 47 % superiores como valor medio de conxunto entre tratamentos nos cortes previamente fertilizados (figura 3), observándose relacións significativas entre o contido de nitratos do raigrás e o NAR de $R^2=0,33$ equivalentes a $3,12 \text{ g NO}_3 \cdot \text{kg}^{-1}$ NAR (figura 4). ►►

Figura 4. Relación entre a concentración de nitrato da forraxe e o nitróxeno aparentemente recobrado



Táboa 6. Valor fertilizante nitroxenado de substitución do xurro

Método	Dose					Significación		
	Abanico	Inxección	30	60	90	Sistema	Dose	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 as perdas de N-NH ₃ do xurro								
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: nitróxeno consumido (kg ha⁻¹); NO₃ forraxe: g kg⁻¹ MS; NAR: nitróxeno aparentemente recobrado (kg kg⁻¹); EANMS: eficiencia aparente do N (kg MS kg⁻¹ N aplicado); letras diferentes dentro da mesma fila e para cada efecto sinalan valores que difiren significativamente (P<0,05)

Valor fertilizante de substitución do xurro

O valor fertilizante de substitución do xurro para a produción de materia seca (VFRNMS) e o consumo de nitróxeno (VFRNN), sen considerar as perdas de amoníaco, foi de 35,1 % e de 30,5 % superiores en inxección respecto das aplicacións en abanico (táboa 6). Independentemente de se contabilizan ou non as perdas de N-NH₃, o VFRNMS para os sistemas en abanico e inxección foi similar ás doses de 30 e 60 kg N ha⁻¹ pero diferente a 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 inxección e 90 kg N ha⁻¹. Doutra banda, o VFRNN foi diferente entre tratamentos (táboa 6) con mínimos de 0,37 kg kg⁻¹ en abanico á dose de 60 kg N ha⁻¹ e máximos de 0,63 kg en inxección con 90 kg N por hectárea (figura 3) sen contabilizar as perdas de N amoniacal do xurro.

DISCUSIÓN

Produción de materia seca e N consumido

Os rendementos anuais de materia seca e nitróxeno ás doses de 30 kg N mineral ha⁻¹, 90 kg de N de xurro aplicado en abanico ou 60 kg de N en inxección foron similares aos sinalados nun experimento previo por Salcedo (2011), 5165 kg MS e 134 kg N ha⁻¹, tamén coa variedade Agraco-812 e fertilizando con 45 kg de N mineral en fondo e aproveitado para ensilado nun só corte.

As diferenzas de produción entre o xurro inxectado ou espaxado en abanico foron de 540 kg de materia seca e 10 kg de N ha⁻¹, imputables en parte á menor perda de N amoniacal, 3,8 kg ha⁻¹, no primeiro que

no segundo, 10,2 kg ha⁻¹, segundo as estimacións realizadas co modelo ALFAM (Søgaard *et al.*, 2002). Os traballos de Lalor *et al.* (2011) tamén obtiveron diferenzas significativas na produción de herba con aplicadores de xurro de baixas emisións (zapatas traseiras), respecto da aplicación con prato ou abanico, sen considerar as perdas de N amoniacal. Hoekstra *et al.* (2010) tamén apreciaron diferenzas significativas entre sistemas de aplicación de xurro despois do primeiro corte en pradeiras, con rendementos medios de 3,4 t MS ha⁻¹ sen xurro ata 4,3 t en abanico, 4,5 con zapatas traseiras e 4,9 t con mangueiras colgantes, sen efectos residuais nos seguintes aproveitamentos de primavera. Pola contra, Rodhe e Rammer (2002) non apreciaron diferenzas de rendemento entre aplicacións de xurro inxectado ou en abanico. Mesmo Rahman *et al.* (2001) e Mattila *et al.* (2003) sinalaron respostas de produción inferiores en inxección respecto das aplicacións en superficie. Esta diversidade de resultados podería estar relacionada coa variabilidade existente en aspectos tales como o clima, a textura dos solos, o seu contido en N, a dilución do xurro ou os equipos de inxección, entre outros factores.

Nitróxeno aparentemente recobrado e eficiencia aparente do N
Coincidindo cos resultados de Kayser *et al.* (2015), o NAR neste traballo foi maior con fertilizante mineral que con xurro, reducíndose a diferenza ao incrementar a dose de nitróxeno e non superando 0,75 kg N kg⁻¹ para o fertilizante mineral ou 0,67 kg N kg⁻¹ para o xurro

inxectado. Pola súa banda, Schils e Kok (2003) en pradeiras de Holanda obtiveron valores superiores a 0,79 kg N kg⁻¹ para o nitrato amónico cálcico, mentres que con xurro inxectado o seu rango de valores foi de 0,45 a 0,76 e con aplicacións en abanico de 0,29 a 0,61.

Lalor *et al.* (2011) obtiveron en pradeiras diferenzas de 0,09 kg de nitróxeno aparentemente recobrado a favor do xurro aplicado con zapatas traseiras respecto ao abanico. As escasas diferenzas de NAR para os sistemas de prato e de zapatas traseiras sinaladas por estes autores respecto dos valores para inxección do presente experimento, son atribuídas a unha maior exposición do xurro ao aire con o sistema de zapatas traseiras, o que pode incrementar as emisións de N amoniacal (Huijsmans *et al.*, 2001), producindo consecuentemente un menor NAR. As perdas de N amoniacal simuladas co modelo ALFAM para o sistema de zapatas traseiras nas mesmas condicións do noso experimento foron do 20,3 % e do 15,1 % para a inxección, o que puidese explicar a menor diferenza de NAR nos métodos de aplicación analizados por Lalor *et al.* (2011).

De Boer (2013) recomenda mellorar as estimacións das emisións N amoniacal mediante a súa complementación co cálculo do nitróxeno aparentemente recobrado. Os valores de emisión do N amoniacal estimados polo modelo ALFAM do presente experimento foron do 40,5 % en abanico e do 15 % en inxección, similares a 49 % e 13 % respectivamente, sinalados por De Boer (2013) en Holanda para os mesmos sistemas de aplicación. Os factores de emisión do N amonia-

► A MAIOR DISPOÑIBILIDADE DO N NO NITRATO AMÓNICO CÁLCICO PUIDO SER A CAUSA DA MAIOR CONCENTRACIÓN DE NITRATOS NA FORRAXE

cal poden ser estimados con maior precisión cando as diferenzas de emisión entre os sistemas de aplicación de xurro se comparan coas diferenzas de NAR (De Boer, 2013). A diferenza de NAR en inxección respecto ao abanico do presente experimento foi de 17,8 unidades porcentuais, mentres que a porcentaxe de N amoniacal respecto ao N total foi do 42,6 %, similar ao 40,5 % do N amoniacal perdido na aplicación en abanico. Con todo, outros factores como a inmovilización temporal de N amoniacal do xurro no chan (Burger e Venterea, 2008), lixiviados (Schröder *et al.*, 2010) ou emitido en forma gasosa como amoníaco (Velthof *et al.*, 1997) deben tamén considerarse.

Os resultados de NAR do presente traballo sitúanse no rango sinalado por Schils e Kok (2003) de 0,44 kg en inxección e 0,30 kg en abanico; de 0,15 a 0,62 kg en pradeiras para os sistemas de prato e zapatas traseiras (Hoekstra *et al.*, 2010), e de 0,23 a 0,5 kg en inxección e 0,23 a 0,45 kg en prato (Mattila *et al.*, 2003), tamén en pradeiras.

Coincidindo con Flores *et al.* (2015), a eficiencia aparente do N (EANMS) diminuíu ao aumentar a achega de N, independentemente do tipo de fertilizante. Con todo, os nosos resultados para aplicacións con abanico e inxección foron superiores aos indicados por Flores *et al.* (2015) de 12,2 e 10,3 kg MS kg⁻¹ N respectivamente, na asociación de raigrás italiano con trevo. Factores como o seu menor contido de N do xurro 1,41 g kg⁻¹ respecto de 3,78±0,18 g kg⁻¹ do presente experimento, ou ben algunha posible interacción co N fixado po-

las leguminosas, puidesen explicar estas diferenzas. Do mesmo modo, as eficiencias do fertilizante mineral no noso experimento, 19,6 kg MS kg⁻¹ N, foron superiores ás indicadas por Flores *et al.* (2015): 12,4 kg MS kg⁻¹ nitróxeno.

Valor fertilizante de substitución

Os valores medios do valor fertilizante de substitución para a materia seca (VFRNMS) e para o nitróxeno (VFRNN) para aplicacións con abanico e inxección foron de 0,37-0,57 e 0,41-0,59 kg kg⁻¹ N respectivamente. De igual forma ao descrito por Kayser *et al.* (2015), o maior NAR do xurro inxectado respecto ao abanico explica o seu maior VFRNN, imputable á menor perda de N amoniacal. Con todo, o noso VFRNN foi menor ao de 0,79 kg kg⁻¹ sinalado por Kayser *et al.* (2015). Pola súa banda, Schröder *et al.* (2007) indicaron que a menor perda de N amoniacal en inxección non compensa os danos mecánicos causados polo disco do equipo de aplicación. A pesar deste inconveniente, Schröder *et al.* (2010) estableceron valores máis moderados de 0,6 kg respecto dos sinalados por Kayser *et al.* (2015) para aplicacións en inxección.

A diferenza de 0,20 kg kg⁻¹ para VFRNMS e de 0,18 kg kg⁻¹ o VFRNN con xurro inxectado respecto ao aplicado en abanico pode ter a súa orixe na menor perda de N amoniacal. Os resultados aquí obtidos son superiores aos sinalados por Lalor *et al.* (2011) de 0,10 e 0,10 kg kg⁻¹ no primeiro aproveitamento da pradaría con aplicador de zapatas traseiras e abanico respectivamente (0,06 e 0,05 kg kg⁻¹ para o experimento completo). O VFRNMS para as asociacións de raigrás italiano e trevo sinalado por Flores *et al.* (2015) foi de 0,62 kg/kg⁻¹, sen diferenzas entre as doses empregadas de 50 ou 100 kg N ha⁻¹ similares ao de 0,63 kg kg⁻¹ do presente traballo con inxección e 90 kg N ha⁻¹. Estas observacións difíren das de Schröder *et al.* (2007), que sinalaron aumentos desde o 51-53 % do VFRNMS cando o xurro se aplica por primeira vez, a aproximadamente o 70 % despois de 7-10 aplicacións anuais.

Contido de nitratos na forraxe

A maior dispoñibilidade do N no nitrato amónico cálcico puido ser a causa da maior concentración de nitratos na forraxe. Marschner (1998) sinala que as plantas preferentemente absorben o nitróxeno en forma de nitrato (NO₃) ou de amonio (NH₄). Con frecuencia, o nitrato aumenta co nivel de fertilización nitróxenada (Wretschmer, 1958) e diminúe cando as plantas maduran (Crawford, 1961). A concentración media de nitrato en planta observado nos diferentes tratamentos foi 4,14±1,5 g kg⁻¹ MS, inferior ás sinaladas por Nichol (2007), quen considera que concentracións inferiores a 10 g NO₃-kg MS non son problemáticas para o gando. Este autor sinala que valores de NO₃-superiores a 20 g kg⁻¹ MS poderían resultar tóxicas para os animais. Segundo Nichol *et al.* (2003), a intoxicación por nitrato pode aparecer en vacas secas alimentadas con forraxes de inverno. A mesma prodúcese como consecuencia da conversión do nitrato en nitrito (NO₂) polos microbios do rume a unha velocidade máis alta que a de formación de amoníaco (Nichol, 2007).

CONCLUSIÓNS

A maior produción de materia seca, de nitróxeno, a eficiencia aparente do N, o N aparentemente recobrado e a concentración de nitrato na forraxe foron superiores con fertilizante mineral. A menor perda de amoníaco do xurro rexistrouse no sistema de aplicación localizada por inxección, presentando as mellores eficiencias na utilización do N comparados co método do abanico. O N do xurro aplicado en inxección pode substituír o 59 % do N mineral en raigrás italiano.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratorio Agroalimentario de Santander e, en especial, a Marceliano Sarmiento polas análises de nitratos. ■