



En Vaca.tv

Pegada de carbono nas explotacións leiteiras asturianas

Amosamos o traballo elaborado con base en 15 explotacións asturianas, cuxo obxectivo foi o de estimar os gases de efecto invernadoiro e a pegada de carbono por hectárea, por unidade de gando maior e por litro de leite corrixido por graxa á saída da granxa en cinco tipoloxías de alimentación mediante a aplicación do modelo DairyCant.

Gregorio Salcedo^{1*}, José Daniel Jiménez-Calderón², Adela Martínez-Fernández², Silvia Baizán², Fernando Vicente²

¹CIFP La Granja (Heras, Cantabria)

²Área de Nutrición, Pastos e Forraxes, Servizo Rexional de Investigación e Desenvolvemento Agroalimentario (Serida)

*gregoriosal57@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Os sistemas leiteiros de Asturias e, por extensión, os da cornixa cantábrica poden clasificarse en intensivos, semiintensivos e extensivos. Os maiores

inputs e a menor superficie localízanse nos primeiros; a intensificación forraxeira (millo, raigrases, leguminosas etc.) é a base dos segundos e o aproveitamento da

herba nos terceiros. A intensificación do sector leiteiro en Asturias caracterízase por unha alta carga gandeira, elevada porcentaxe de concentrado, animais de alto valor xenético e unha gran produción de leite por hectárea. Con todo, o seu impacto ambiental non está de todo clarificado (Bava *et al.*, 2014).

O gando contribúe co quecemento global a través das emisións de gases de efecto invernadoiro (GEI) como o dióxido de carbono (CO₂), procedente da combustión da enerxía fósil e produción de alimentos; o metano (CH₄), como consecuencia fisiolóxica da fermentación entérica dos ruminantes e do óxido nítrico (N₂O), causado polo manexo do esterco, a fertilización e os procesos de nitrificación e desnitrificación no solo (De Vries e De Boer, 2010). Pola contra, a produción de leite contribúe co secuestro de carbono no solo mediante a chegada de esterco e restos vexetais (Soussana *et al.*, 2010).

Diferentes estratexias son consideradas para reducir as emisións de GEI na produción de leite. Entre outras, a alimentación equilibrada (van Middelaar *et al.*, 2013; van Gastelen *et al.*, 2015); incrementar a eficiencia na conversión de alimento a leite (Basarab *et al.*, 2013); aumentar a produtividade animal (Bell *et al.*, 2011); mellorar a produción de alimentos (Kristensen *et al.*, 2011); reducir a compra de alimentos e fertilizantes (Basarab *et al.*, 2013) ou incrementar a utilización do pastoreo (O'Brien *et al.*, 2014), que proporciona un maior potencial de secuestro de carbono (Zotarelli *et al.*, 2012).

Para estimar o alcance dos gases producidos na produción do leite utilízanse diferentes modelos de predición. Todos eles inclúen factores de emisión relacionados cos diferentes procesos produtivos e poden ser empíricos ou estatísticos, simulando procesos mecánicos ou mediante unha análise de ciclo de vida (Rotz, 2017). O modelo DairyCant (Salcedo, 2015) é un modelo empírico baseado na investigación e na análise estatística que simula as-

pectos de manexo relacionados coa produción e a saúde ambiental das explotacións leiteiras.

MATERIAL E MÉTODOS

Granxas participantes

Seleccionáronse 15 explotacións gandeiras do Principado de Asturias (figura 1), que reunían 818 vacas leiteiras, divididas en cinco tipoloxías de alimentación:

- Ecolóxicas (Eco)
- Presebe-pastoreo (Pe-Pa)
- Ensilado de herba (EHba)
- Ensilado de millo (EMz)
- Ensilado de herba e de millo (EHba-EMz)

As explotacións foron enquisadas e analizadas baixo unha perspectiva de análise de ciclo de vida, co modelo de simulación DairyCant (Salcedo, 2015) durante o ano 2018. A mostra representou o 0,8 % do total de explotacións existentes en Asturias. As entrevistas in situ incluían cuestións relacionadas cos seguintes datos:

- Localización
- Base territorial e distribución forraxeira

► DAIRYCANT (SALCEDO, 2015) É UN MODELO EMPÍRICO [...] QUE SIMULA ASPECTOS DE MANEXO RELACIONADOS COA PRODUCCIÓN E A SAÚDE AMBIENTAL DAS EXPLOTACIÓNS LEITEIRAS

- Fertilización
- Composición e manexo do rabaño
- Alimentación dos animais
- Produción e composición química do leite
- Maquinaria
- Consumo de enerxía ►►



FROM 2 GAMMA THE INVENTOR OF OXYGEN BARRIER SILAGE FILM

Distribuido exclusivamente por:

AGUSTI PLA NESPLE Tona (Bcn)

Mobil: +34 609 729711

Mail: agustipla@hotmail.com

La Película de plástico para ensilaje con Barrera de Oxígeno EVOH

- ✓ Barrera de Oxígeno EVOH.
- ✓ Anchura: desde 4 a 56 mt. Longitud: hasta 600 mt.
- ✓ Adecuado para todas las necesidades

SealPlus Underlay Beige 45µ	SealPlus Beige/Black Film 80µ	SealPlus Black/White Film 150µ	SealPlus Wall Film 110µ	SealPlus Stretch Gold 25µ
				

Objetivo de SealPlus es proteger su silo, bloqueando la transpiración de oxígeno, que es la principal causa del deterioro del ensilado.



SealPlus - 2 Gamma Srl:

Corso Inghilterra 15, Mondovì, CN - Tel. +39 0174-597679 - www.sealplus.com - info@sealplus.com

Figura 1. Localización e número de ganderías mostreadas por concello



► O 65,8 % DAS EMISIÓNS TOTAIS PRODÚCENSE DENTRO DA EXPLOTACIÓN, PERMITINDO AMPLAS OPORTUNIDADES DE MELLORA

Unidade funcional e límites do sistema

A metodoloxía de avaliación do ciclo de vida require dunha unidade funcional (UF), atributo do produto ou sistema, e utilízase como un escalon cuantitativo para fins de comparación, no noso caso tipoloxías de alimentación. Pode haber máis dunha UF porque un sistema pode ter unha serie de funcións posibles. En calquera caso, a UF debe ser fácil de definir e medir (ISO, 1997). As UF utilizadas neste traballo foron: i) unha hectárea, ii) unha unidade de gando maior (UGM) e iii) un litro de leite corrixido por enerxía (ECM) á saída da explotación (Sjaunja *et al.*, 1990).

A figura 2 representa os límites do sistema utilizados neste estudo, incluíndose as emisións relacionadas coa importación de concentrados, forraxes e fertilizantes.

Análise estatística

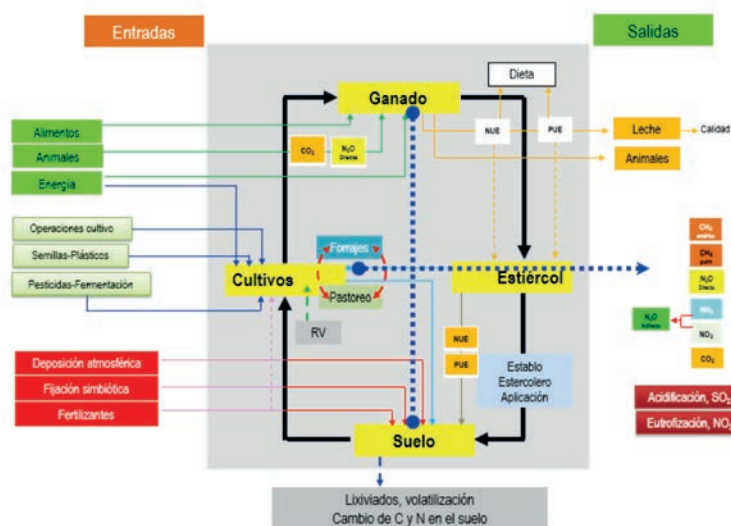
Os resultados das enquisas foron procesados mediante análises de varianza utilizando o procedemento GLM do programa SPSS 15.0 (2006), considerando como efecto principal a tipoloxía de alimentación da explotación. Para as variables en que o efecto principal resultou estatisticamente significativo, utilizouse a proba de Duncan para a comparación de medias.

RESULTADOS

Descrición das explotacións

As características técnico-productivas das explotacións veñen indicadas na táboa 1. En xeral, o número de animais, a superficie agrícola útil (SAU), a dedicada a cultivos forraxeiros por UGM e a produción de forraxe e de leite por hectárea foron superiores nas dietas baseadas en ensilado de herba e millo (EHba-EMz) e as ba-

Figura 2. Límites do sistema de DairyCant (Salcedo, 2015)



seadas en prebebe-pastoreo (Pe-Pa), as menores. O aproveitamento maior de herba verde rexistrouse nos ecolóxicos (Eco); mentres, a compra de concentrado por hectárea foi similar nas baseadas en ensilado de millo (SMz) e (EHba-SMz), intermedias en (Pe-Pa) e as mínimas en (Eco) e as que utilizan maioritariamente ensilado de herba (EHba).

Os compoñentes da dieta e a ache ga de nutrientes de cada sistema de alimentación veñen representados na figura 3A-B. Os sistemas Eco e Pe-Pa consomen maior porcentaxe de herba verde, mentres que SHba, SMz e SHba-SMz só teñen acceso as xovenas. As vacas leiteiras da tipoloxía EHba-EMz reciben unha maior porcentaxe de concentrado ($50,9 \pm 3,1$ %), dando lugar a unha superior inxestión diaria de materia seca ($25,1 \pm 2,4$ kg), enerxía neta leite ($42,8 \pm 4,22$ Mcal) e $3,9 \pm 0,64$ kg de proteína bruta.

Con todo, as estimas no consumo de fibra neutro deterxente foron maiores en Pe-Pa e EHba de $10,0 \pm 1,8$ e $10 \pm 0,78$ kg, respectivamente, mentres que o amidón o foi en EMz con $6,0 \pm 0,60$ kg e o mínimo de $2,1 \pm 0,5$ kg en Pe-Pa.

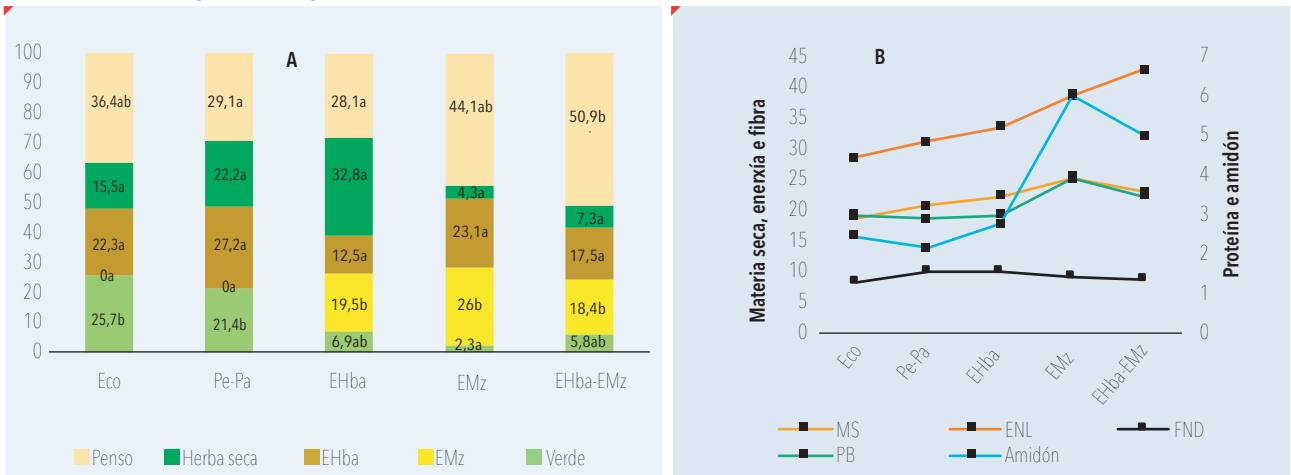
As porcentaxes de reposición do gando non difiren entre tipoloxías, rexistrándose valores medios de $39,8 \pm 16,1$ %. O uso de fertilizantes nitrogenados de sínteses foi numericamente superior en SMz (táboa 1), mentres a produción de N orgánico por hectárea foi superior nos sistemas EHba-SMz ($P < 0,05$) de 460 kg e a menor en Eco de 112 quilos. Estas diferenzas de N orgánico son debidas á distinta carga gandeira entre ambos. En calquera caso, a produción de N por UGM sitúase en valores de 98 quilos. ►

Táboa 1. Características técnico-productivas das explotacións segundo o tipo de alimentación (n=15)

Variable	Eco	PePa	SHba	SMz	SHba-SMz	sd
<i>Animais</i>						
Vacas de leite	30a	25a	31a	125c	62b	39
Carga gandeira, UGM ha ⁻¹	1,37	3,05	1,71	3,12	3,77	1,45
Reposición < e > 1 ano, %	37	34	43	34	50	16
<i>Terra</i>						
Superficie agrícola útil (SAU), ha	31,5a	16,6a	30a	63b	30,3a	17,3
Superficie pradería, ha	31,5b	15a	22,3ab	22ab	18,6a	7,9
Superficie millo, ha	0	1,6	4,3	31,3	10,6	13,9
SAU Cultivos forraxeiros UGM ⁻¹	0	0,03	0,12	0,21	0,10	0,09
Raigrás italiano despois do millo, ha	0a	1,7a	6a	33b	10a	13,9
Herba para ensilado, kg MS ⁻¹	1062	2431	2386	1205	2089	1011
Herba para consumo en verde, kg MS ⁻¹	4586b	1829a	1139a	492a	806a	1700
Millo para ensilado, kg MS ⁻¹	0a	1285	3180	5183	3035	2471
Raigrás italiano para ensilado, kg MS ⁻¹	0a	286a	1128ab	4108c	1791b	1637
Materia seca final, kg ha ⁻¹	5648a	4975a	5712a	11244b	8166ab	3117
<i>Alimentos e fertilizantes</i>						
Compra concentrados, t ha ⁻¹	2551	5254	2897	9781	9882	411
Compra forraxes, t ha ⁻¹	0	3741	2793	1956	1299	2574
Fertilizante químico, kg N ha ⁻¹	0	0,77	13,2	192,5	60,3	116,9
Orgánico, kg N ha ⁻¹	112a	267ab	193a	340ab	460b	159
Fertilizante nitrogenado millo, kg N ha ⁻¹	0	75	63	160	101	110
<i>Produción de leite</i>						
Leite ECM, t explotación	247a	222a	325a	1609c	784b	558
Leite ECM t ha ⁻¹	7775a	19577ab	9849ab	25333b	25222b	10402
Leite vaca leiteira ano, t ECM ano ⁻¹	8357a	8896a	10053ab	12798b	11820b	2169
Eficiencia utilización do N vacas leiteiras, (EUN _{VL}) %	23,5a	26,8ab	33,6bc	35,6c	32,8bc	5,7
Eficiencia utilización do N conxunto rabaño, (EUN _{CR}) %	19,6	23,0	24,6	24,7	25,5	4,8
Eficiencia, litros leite kg ⁻¹ MS inxerida vaca leiteira	1,28	1,23	1,34	1,4	1,52	0,22
Eficiencia, litros leite kg ⁻¹ MS conxunto rabaño	0,94	1,02	0,98	1,07	1,17	0,24

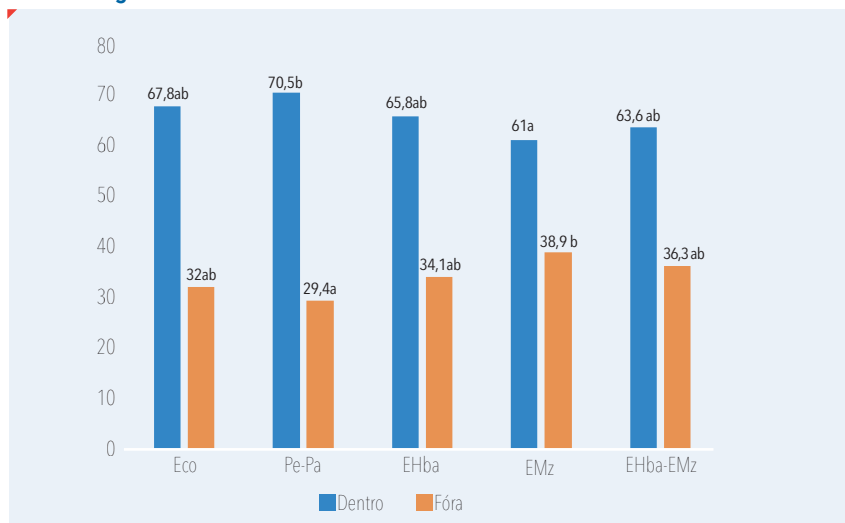
Ecolóxicas (Eco); presebe-pastoreo (Pe-Pa); ensilado de herba (EHba); ensilado de millo (EMz); ensilado de herba de millo (EHba-EMz). Letras diferentes na mesma liña indican diferenzas significativas

Figura 3. Distribución porcentual dos alimentos que compoñen a dieta (A) e achega de nutrientes en cada sistema de alimentación (B); kg día⁻¹, excepto na enerxía neta de lactación: Mcal día⁻¹



► UTILIZAR FERTILIZANTES NITROXENADOS DE LIBERACIÓN LENTA PARA O MILLO E OUTROS CULTIVOS FORRAXEIROS PODE MITIGAR SIGNIFICATIVAMENTE AS EMISIÓN DE N_2O

Figura 4. Procedencia das emisións de gases de efecto invernadoiro en explotacións leiteiras segundo o seu sistema de alimentación



A eficiencia de utilización do nitróxeno da dieta nas vacas leiteiras (EUN_{VL}) foi superior en SMz ($P < 0,05$) e as menores en ecolóxico, sen diferenzas significativas entre EHba e SHba-SMz (táboa 1). Pola contra, a eficiencia para o conxunto do rabaño (EUN_{CR}) non foi diferente entre tipoloxías de alimentación, aínda que si numericamente maior en EMz e EHba-EMz. A maior diferenza entre EUN_{VL} e EUN_{CR} na tipoloxía EMz de 10,9 unidades porcentuais e a menor de 3,9 en Eco ten a súa orixe na superior carga gandeira. A eficiencia alimenticia en litros de leite por quilo de materia seca inxerida foi similar entre tipoloxías, tanto se se expresa a nivel de vaca leiteira ou como no conxunto de animais (táboa 1), con medias de $1,35 \pm 0,22$ e $1,04$ litros, respectivamente.

Emisións de gases de efecto invernadoiro

Os gases de efecto invernadoiro (GEI) producidos nunha explotación leiteira son o metano (CH_4), o dióxido de carbono (CO_2) e o óxido nítrico (N_2O). O potencial de quecemento global é diferente entre eles, así o metano ten un potencial 21 veces maior que o dióxido de carbono e o do óxido nítrico 310 veces que o CO_2 . As emisións son orixinadas tanto na propia explotación como fóra dela como consecuencia das emisións que se xeran nos procesos produtivos implicados nas subministracións que necesita a gandería (alimentos comprados, combustibles, fertilizantes etc.). As emisións de GEI

dentro da explotación supoñen unha media do $65,8 \pm 4,8$ % do total das emisións, cun máximo de $70,5 \pm 3,4$ % en Pe-Pa e un mínimo de $61 \pm 6,5$ % en EMz (figura 4).

En xeral, o CH_4 representou o $56,1 \pm 4$ % do total de emisións por hectárea no conxunto de explotacións (táboa 2), dos cales o $79,1 \pm 1,4$ % procede da fermentación entérica e o $20,8 \pm 1,4$ % restante a través do esterco. A produción de metano por hectárea, UGM e litro de leite corrixido por graxa (ECM) non foi diferente entre tipoloxías de alimentación, con valores medios de 437 ± 261 kg, 164 ± 23 kg e $24,8 \pm 4,5$ g respectivamente. A nivel cuantitativo, as menores emisións de GEI por hectárea e UGM observáronse na produción ecolóxica. A tipoloxía EHba tivo similares emisións por hectárea e UGM a EMz e EHba-EMz (táboa 2). Pola contra, o emitido por litro de leite foi numericamente menor nas tipoloxías máis intensivas (EMz e EHba-EMz) con $22,6 \pm 3,0$ g respecto das máis extensivas (Eco, Pe-Pa e EHba) con $26,2 \pm 4,9$ g, imputable ao ensilado de millo e superior produción de leite. Esta diferenza representou reducións do 13,7 %, similar ao 9,3 % sinalado por Salcedo *et al.* (2015) en explotacións leiteiras de Galicia cando as vacas reciben ensilado de millo. A inferior concentración numérica de CH_4 por litro de leite no grupo intensivo respecto ao máis extensivo ten a súa orixe á maior produción de ácido propiónico ►

no rume, derivado da fermentación do amidón do ensilado de millo e do concentrado, que actúa como sumidoiro de hidróxeno e reducindo a metanoxénese (Bannink *et al.*, 2006). Mentres, a maior concentración en Eco e Pe-Pa non só pode ser debido ao maior consumo de fibra (figura 2) senón á súa superior concentración na materia seca da dieta. Con todo, non se obtiveron relacións significativas entre o CH₄ por litro de leite respecto ao consumo diario de fibra neutro deterxente ou a súa concentración na dieta. Aspectos como aumentar a materia orgánica fermentable en rume da forraxe a través dunha maior dixestibilidade e reducir o seu contido en parede celular permitirían incrementar a formación de ácido propiónico. Ao mesmo tempo, a produción de leite veríase incrementada, reducíndose así as emisións de metano por litro de leite. Desta maneira e para as explotacións analizadas, aumentos dun litro de leite por riba dos 22,6 L poden reducir a emisión de CH₄ 0,45 g ($r^2=0,51$ $P<0,003$).

A porcentaxe de CO₂ no conxunto de explotacións respecto ao total de emisións foi do 28,1±3,3 %, dos cales o 86,8±18 % procede da suma do gasóleo (17,8±3,7 %), a electricidade (15,9±3,7 %) e o 53,1±6,8 % da compra de concentrado. As explotacións do grupo de produción ecolóxica (Eco) emitiron menos CO₂ por hectárea que as máis intensivas (EMz e EHba-EMz), con medias de 1985±65 e 7166±1675 kg ha⁻¹ respectivamente, mentres que os outros sistemas extensivos (Pe-Pa e EHba) mostraron emisións intermedias, cunha media de 3736±2760 kg CO₂ ha⁻¹. Estas diferenzas débense, entre outras, ás maiores entradas de gasóleo, electricidade, fertilizantes, concentrados e actividades agrícolas (táboa 2). Así mesmo, a superior carga gandeira nas tipoloxías máis intensivas foi a responsable do incremento de CO₂, onde aumentos de 1 UGM ha⁻¹ poden acentuar o CO₂ en 1913±204 quilos. Pola contra, o CO₂ por UGM e litro de leite non foi diferente entre sistemas de alimentación (táboa 2), con máximos de 3917±812 kg en EMz e mínimos de 3198±321 kg en Eco por UGM e de 0,28±0,07 kg en EMz e de 0,23±0,07 kg en Pe-Pa por litro de leite. Observouse unha relación

lineal e positiva ($r^2=0,31$ $P<0,01$) entre as emisións de CO₂ por hectárea e a porcentaxe de SAU dedicado a cultivos forraxeiros, con 67,6 kg de CO₂ por cada unidade porcentual de SAU incrementada. ►►

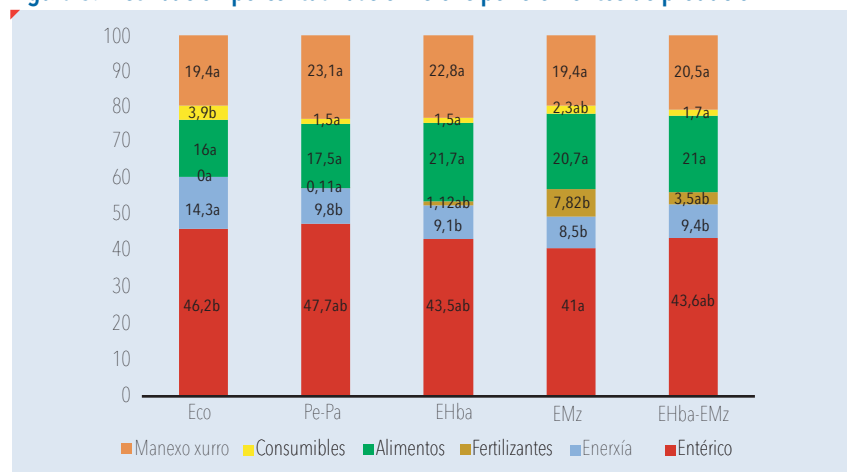
Táboa 2. Emisións parciais de gases de efecto invernadoiro por tipoloxía de alimentación en explotacións leiteiras asturianas

	Eco	PePa	SHba	SMz	SHba-SMz	sd
CH₄, kg						
Entérico	167	413	215	441	487	204
Esterco	42	112	54	125	128	57
<i>kg hectárea⁻¹</i>	209	525	269	567	616	261
<i>kg UGM⁻¹</i>	152	164	154	186	162	23
<i>g L⁻¹ ECM</i>	26,4	26,3	26,0	22,5	22,7	4,5
<i>% sobre total en CO_{2eq}</i>	57,8ab	60,3b	54,4ab	52,9a	55,2ab	4,0
CO₂, kg						
Gasóleo	409	909	509	931	1123	432
Electricidade	322a	754ab	380ab	931b	979b	199
Fertilizantes nitrogenados	0	4	70	1018	495	620
Fertilizantes fosfatados	0a	1a	19ab	56b	21ab	30
Forraxes compradas	97	929	671	423	270	612
Concentrados comprados	845a	1807ab	953a	3276b	3708b	1505
Plásticos	0,14a	5c	3ab	4bc	6c	2
Sementes	0a	1a	3a	15b	7a	6
Actividades agrícolas	289ab	154a	181a	511c	377bc	156
Aplicación xurro	22	76	37	85	87	40
Compra xovencas	0	2,4	0	4,6	1	3,2
<i>kg hectárea⁻¹</i>	1985a	4645ab	2827ab	7256b	7077b	2974
<i>kg UGM⁻¹</i>	3198	3462	3246	3917	3416	487
<i>g L⁻¹ ECM</i>	0,25	0,23	0,27	0,28	0,26	0,05
<i>% sobre total en CO₂</i>	26,3ab	24,8a	27,3abc	31,5c	30,4bc	3,3
N₂O, kg						
Excretado en establo	0,63a	1,52abc	1,1ab	1,9bc	2,6c	0,91
Aplicación de fertilizantes	0	0,001	0,13	1,92	0,6	1,16
Volatilización	0a	0,04bc	0,03ab	0,06bc	0,08c	0,03
Lixiviados	0,12a	0,65b	0,65b	0,68b	0,58b	0,27
Achegar xurro	0,34a	0,79ab	0,58a	1ab	1,4b	0,47
Fixación biolóxica	0,12b	0,04ab	0,02ab	-0,12a	-0,02ab	0,11
Rume	0a	0,023b	0,01ab	0,02b	0,03b	0,01
Gasóleo	1,16b	0,2a	0,11a	0,21a	0,26a	0,40
Compra fertilizantes nitrogenados	0	0,003	0,066	0,96	0,30	0,58
Forraxes compradas	0,09	1,07	0,95	0,43	0,14	0,69
Concentrados comprados	0,75a	1,61ab	0,84a	2,8b	3,1b	1,2
Mineralización e restos vexetais	0,72a	1,4b	1,39b	1,7b	1,63b	0,39
<i>kg hectárea⁻¹</i>	3,86a	7,39ab	5,91ab	11,6b	10,8b	7,9
<i>kg UGM⁻¹</i>	2,81	2,72	3,48	3,68	2,89	0,59
<i>g L⁻¹ ECM</i>	0,49	0,44	0,58	0,46	0,4	0,12
<i>% sobre total en CO_{2eq}</i>	15,8	14,8	18,2	15,5	14,4	2,5

UGM: unidade de gando maior; **ECM:** leite corrixido por graxa; valores con distinta letra na mesma fila indica diferenzas significativas; sd: desviación estándar

► AS EMISIÓN DE N_2O POR HA REPRESENTARON NO CONXUNTO DAS EXPLOTACIÓN O $15,7 \pm 2,5$ %

Figura 5. Distribución porcentual das emisións por elementos de produción



As emisións de N_2O por hectárea representaron no conxunto das explotacións o $15,7 \pm 2,5$ % (táboa 2). Desta porcentaxe, o 30 ± 8 % fórmalo a compra de alimentos, o $19,7 \pm 4,8$ % as orixinadas no establo e estercoiro, o $17,3 \pm 7,3$ % a mineralización do solo e os restos vexetais, o $10,4 \pm 2,4$ % a achega de xurro e o $6,6 \pm 4,3$ % os lixiviados. As maiores emisións de N_2O e por hectárea corresponden ás explotacións máis intensivas (EMz e EHba-EMz) con medias de 11,2 kg e similares entre elas (táboa 2); intermedias e sen diferenzas significativas Pe-Pa e EHba con 7,3 e 5,9 kg respectivamente e, as menores en Eco con 3,8 quilos. O N_2O por UGM e por litro de leite corrixido por graxa para o conxunto de explotacións foide $3,1 \pm 0,6$ e $0,47 \pm 0,12$ kg respectivamente, sen diferenzas significativas entre tipoloxías de alimentación (táboa 2). Reducións dun quilo de N aplicado ao solo (orgánico máis inorgánico), unha UGM ou dun quilo de concentrado por hectárea teñen un potencial mitigante de $-0,017 \pm 0,001$ kg; $-2,3 \pm 0,4$ kg e $-0,001 \pm 0,0001$ kg N_2O respectivamente. Do mesmo xeito, un quilo de N entrado á explotación e por hectárea ten un potencial de $-0,02$ kg N_2O .

A distribución porcentual dos factores de produción implicados na emisión de gases das explotacións vén representada na figura 5. Dela despréndese que o metano entérico, a compra de alimentos e o manexo do xurro son as fontes maioritarias e, posiblemente, onde máis oportunidades de mellora teña o gandeiro á hora de mitigar ou reducir emisións.

Pegada de carbono

A suma das emisións parciais e totais representadas polo suma secuestro de carbono (SC), as derivadas da compra de soia e do uso indirecto do chan (iLUC) veñen sinaladas na táboa 3. O secuestro de carbono estimouse conforme a Petersen *et al.* (2013), considerando as entradas ao xurro e, tras as colleitas, os restos vexetais por encima e as raíces por baixo do solo. Considerouse un contido en carbono na biomasa vexetal do 45 %, mentres que no do xurro estímase un contido en materia seca do 10,6 % e unha relación C/N de 11,9 (Salcedo, 2011). Asumiuse un factor de emisión de 143 g CO_2 (Audsley *et al.*, 2009) para o cambio de uso do chan indirecto (iLUC) e 2,98 kg CO_2 por quilo de soia importada (FAO 2010), excluíndose do cálculo para esta última ás explotacións ecolóxicas.

As emisións parciais foron de 16399 ± 9134 kg CO_{2-eq} ha $^{-1}$; 6160 ± 840 kg UGM $^{-1}$ e $0,93 \pm 0,15$ kg litro de leite corrixido por graxa no conxunto de explotacións (táboa 2). Aquelas emisións incrementaron 10,4 %, 8,4 % e 11,3 % respecto das totais (táboa 3). Entre tipoloxías de alimentación, as maiores emisións parciais e por hectárea foron para EHba-EMz ($P < 0,05$), sen diferenzas significativas en Pe-Pa, EHba e EMz, e as menores en Eco ($P < 0,05$). Mentres, as emisións totais (parciais+SC+soia+iLUC) foron superiores en EMz e EHba-EMz, sen diferenzas significativas entre elas, intermedias as de Pe-Pa e EHba e as menores en Eco ($P < 0,05$).

O carbono secuestrado por hectárea foi de 1522 ± 669 kg CO_2 no ►

conxunto de explotacións, dos cales o 72,4±13,1 % o achega o xurro e o 27,5±13,1 % os restos vexetais. A tipoloxía EHba-EMz ($P<0,05$) rexistrou o máximo con 2274±428 kg CO₂ ha⁻¹ ($P<0,05$), imputable á superior carga gandeira (táboa 1), quen produce 72,3±22 t de xurro por hectárea, contribuíndo co 83,9±1,0 % do carbono total secuestrado por hectárea. As explotacións Eco atópanse no polo oposto cun total de 875±156 kg CO₂ secuestrado, contribuíndo o 45,1±7,9 % os restos vexetais. A menor porcentaxe de CO₂ achegado pola biomasa en EHba-EMz respecto de Eco débese, en parte, á perda de carbono que representa o laboreo do 40±9 % da SAU dedicada á sementeira de cultivos forraxeiros, principalmente millo en rotación con raigrás italiano (táboa 1) e doutra, á ausencia de pastoreo, onde o piso do gando tamén achega carbono ao solo. Pola contra, cando se expresa o resultado por litro de leite ECM, non se observan diferenzas significativas entre tipoloxías de alimentación con secuestros medios de 93±28 g kg⁻¹ leite, similares a 77 g en sistemas ingleses a pastoreo sinalados por O'Brien *et al.* (2014).

A pegada de carbono parcial dun litro de leite non foi diferente entre tipoloxías, con valores medios de 0,93±0,15 e 1,04±0,19 kg CO_{2-eq} a total (táboa 3 e figura 6). A porcentaxe de CO₂ que representou o SC na pegada total foi do -10±2 %, o 10,6±6,2 % a compra de soia e o 1,46±0,54 % o iLUC (figura 7). Como indican a táboa 3 e a figura 7, só o secuestro de carbono presentou signo negativo en todas as granxas, sen diferenzas significativas entre elas e, dentro destas, as explotacións máis intensivas (EMz e EHba-EMz) foi porcentualmente inferior (-8,9±1,5 %) respecto ao -10,7±1,5 % das máis extensivas (Eco, Pe-Pa e EHba). Pola contra, a porcentaxe de CO₂ que representa a compra de soia e iLUC da pegada total dun litro de leite foi estatisticamente diferente entre granxas intensivas e extensivas, con valores medios do 18,1±1,4 % e 8,11±6,04 %, respectivamente. Entre explotacións a maior porcentaxe rexistrouse na tipoloxía EMz-EHba do 18,9±0,84 % e a menor de 1,13±0,16 % en Eco. ►►

Táboa 3. Pegada de carbono por hectárea, UGM e litro de leite segundo o tipo de alimentación

	Eco	PePa	SHba	SMz	SHba-SMz	sd
CO_{2-eq} kg hectárea						
Emisións parciais ^A	7573a	17971ab	10320ab	22774ab	23355b	9454
Secuestro carbono (SC)	-875a	-1459abc	-1128ab	-1877bc	-2274c	662
Soia ^B	0a	2086bc	1093ab	3459b	3976b	1779
iLUC	85a	311a	130a	431a	436a	229
Totais = parciais+SC+soia+iLUC	8344a	20013ab	11686ab	25708b	26208b	10548
CO_{2-eq} kg UGM						
Emisións parciais ^A	5523a	5726a	5957a	7381b	6209ab	869
Secuestro carbono (SC)	-635	-559	-639	-591	-612	118
Soia ^B	0a	639b	585b	1141c	1059c	451
iLUC	62a	79ab	68a	138b	115ab	41
Totais = parciais+SC+soia+iLUC	6089a	6489ab	6731ab	8666b	5964a	1317
CO_{2-eq} litro de leite ECM						
Emisións parciais ^A	0,96a	0,92a	1,0a	0,90a	0,86a	1,57
Secuestro carbono (SC)	-0,11	-0,088	-0,11	-0,073	-0,084	0,028
Soia ^B	0a	0,10b	0,10b	0,13b	0,15b	0,06
iLUC	0,011a	0,013a	0,011a	0,017a	0,016a	0,005
Totais = parciais+SC+soia+iLUC	1,06	1,06	1,13	1,02	0,96	0,19

^A: emisións indicadas na táboa 2, sen considerar o secuestro de carbono (SC) nin as emisións debidas ao uso indirecto do solo dos alimentos comprados (iLUC) nin as atribuídas á compra de soia; ^B: emisións debidas á compra de soia; medias con diferente letra difiren significativamente $P<0,05$

Figura 6. Pegada de carbono final dun litro de leite segundo tipoloxía de alimentación

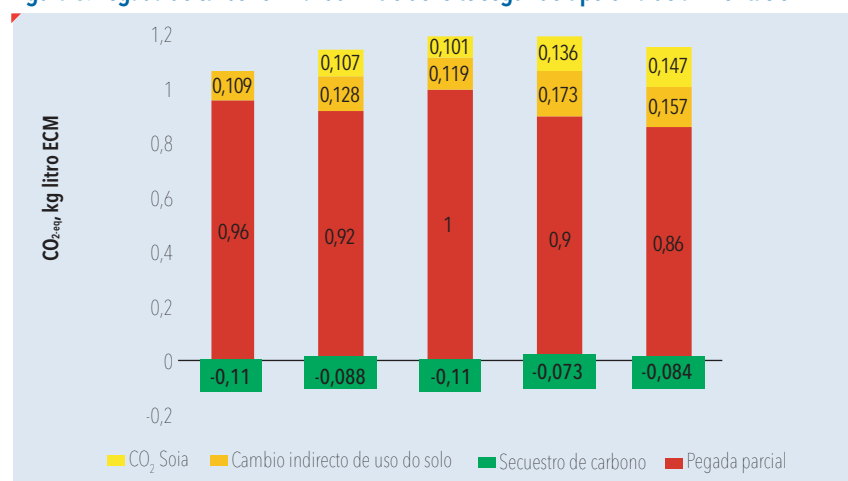
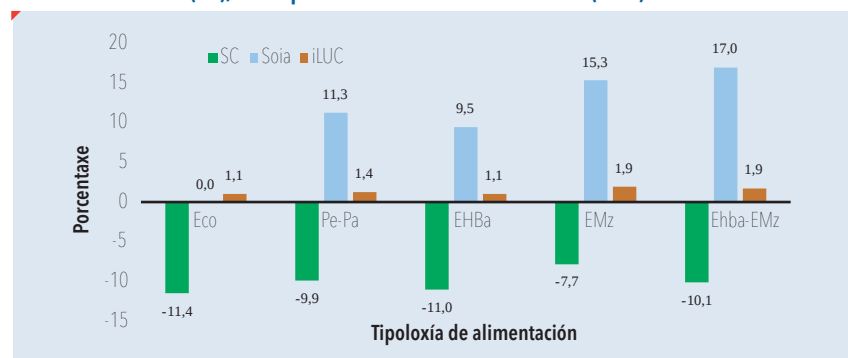


Figura 7. Variación porcentual na pegada de carbono entre tipoloxías ao considerar o secuestro de carbono (SC), a compra de soia uso indirecto do solo (iLUC)



► ELABORAR DIETAS CON ENSILADO MILLO REDUCE O CH₄ ENTÉRICO

IMPLICACIÓNS

- Mellorar a produción de forraxes cunha rotación de cultivos que inclúa leguminosas diminúe a compra de fertilizantes inorgánicos, suplementos proteicos e, por tanto, reducións nas emisións de N₂O.
- Ao manexar a fertilización orgánica con aplicacións de xurro de maneira localizada, redúcense significativamente as emisións de NH₃.
- Utilizar fertilizantes nitroxenados de liberación lenta para o millo e outros cultivos forraxeiros pode mitigar significativamente as emisións de N₂O.
- Diminuír a porcentaxe de proteína do concentrado e o de soia na ración reduce as emisións de NH₃ e N₂O.
- Elaborar dietas con ensilado millo reduce o CH₄ entérico.

AGRADECEMENTOS

Os autores agradécenlle ao Instituto Nacional de Investigación e Tecnoloxía Agraria e Agroalimentaria o financiamento, con cofinanciamento FEDER, do proxecto RTA2015-00058-C06-02 que deu orixe a este traballo. Tamén manifestan o seu agradecemento ao Grupo de Investigación en Nutrición e Sanidade Animal (NYSa) IDI/2018/000237 financiado por FICYT e fondos FEDER. Un agradecemento especial ás ganderías participantes do proxecto. ■

CONCLUSIÓNS

A mostra de 15 explotacións de leite (3 por tipoloxía) representou o 0,8 % do total das existentes en Asturias. Esta baixa porcentaxe non permite extrapolar os datos ás demais granxas do Principado; con todo, son o primeiro paso de monitoreo na saúde ambiental dos sistemas leiteiros asturianos. O 65,8 % das emisións totais prodúcense dentro da explotación, permitindo amplas oportunidades de mellora. O CO_{2-eq} por litro de 1,05±0,19 kg CO_{2-eq} é comparable a países como Irlanda e Austria de 1,0 kg e menor que a media europea de 1,4 quilos. Un maior número de explotacións permitiría confirmar se a tendencia observada nestas é a tónica xeral ou, se pola contra, a variabilidade é superior á aquí observada.

BIBLIOGRAFÍA

- Ausley, E., Bradera M., Chatterton, J., Murphy-Borken, D., Webster, C., Williams, A. (2009). How low can we go? And assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope reduction by 2050. Report for the WWF and Food Climate Research Network.
- Bannink, A., Kogut, J., Dijkstra, J., France, J., Kebreab, E., Van Vuuren, A. M., Tamminga, S. 2006. Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. *J. Theor. Biol.* 238, 36–51.
- Basarab, J.A., Beauchemin, K.A., Baron, V.S., Ominski, K.H., Guan, L.L., Miller, S.P., Crowley, J.J. 2013. Reducing GHG emissions through genetic improvement for feed efficiency: effects on economically important traits and enteric methane production. *Animal*. 7, 303-315.
- Bava, L., Sandrucci, A., Zucali, M., Guerci, M., Tamburini, A. 2014. How can farming intensification affect the environmental impact of milk production?. *J. Dairy Sci.* 97, 1-15.

Bell, M.J., E. Wall, G. Russell, G. Simm, Stott, A.W. 2011. The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems. *J. Dairy Sci.* 94, 3662-3678.

De Vries, M., De Boer, I.J.M. 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livest. Sci.* 128, 1-11.

ISO. 1997. Environmental management: Life cycle assessment: Principles EN ISO 14040:1997.

O'Brien, D., Capper, J. L., Garnsworthy, P. C., Grainger, C., Shalloo, L. 2014. A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. *J. Dairy Sci.* 97, 1835-1851.

Petersen, B.M., Knudsen, M.T., Hermansen, J.E., Halberg, N. 2013. An approach to include soil carbon changes in the life cycle assessments. *J. Clean Prod.* 52, 217-224.

Rotz, C. 2017. Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *J. Dairy Sci.* 101, 1–16.

Salcedo, G. 2011. Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente. Depósito Legal: SA-258-2011, 681 pág.

Salcedo, G. 2015. DairyCant: a model for the reduction of dairy farm greenhouse gas emissions. *Advances in Animal Biosciences*. 6, 26–28.

Salcedo, G., Sande, V., Alonso, G. 2015. Ensilado de maíz como potencial mitigante de gases de efecto invernadero en las explotaciones lecheras de Galicia. *AFRIGA AÑO XXI - Nº 116*, 102-114.

Sjaunja, L.O., Baevre, L., Junkkari, L., Pedersen, J., Setälä, J. 1990. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. In: 27th session of the International Commission for Breeding and Productivity of Milk Animals, Paris, France.

Soussana, J.F., T. Tallec, V. Blanfort. 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* 4, 334-350.

SPSS 2006. Statistical Package for the Social Sciences. 2006. Guía breve de SPSS 15.0. SPSS Inc., Chicago.

Van Gastelen, S., Antunes-Fernandes, E., Hetingga, K., Klop, G., Alferink, J., Hendriks, W., Dijkstra, J. 2015. Enteric methane production, rumen volatile fatty acid concentrations, and milk fatty acid composition in lactating Holstein-Friesian cows fed grass silage- or corn silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 98, 1–13.

Van Middelaar, C.E., Berentsen, P.B.M., Dijkstra, J., De Boer, I.J.M. 2013. Evaluation of a feeding strategy to reduce greenhouse gas emissions from dairy farming: The level of analysis matters. *Agric. Syst.* 121, 9–22.

Zotarelli, L., N.P. Zatorre, R.M. Boddey, S. Urquiaga, C.P. Jantalia, J.C. Franchini, and B.J.R. Alves. 2012. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. *Field Crops Res.* 132, 185-195.