



Intensificación sostible de explotacións leiteiras no clima atlántico temperado. Efectos sobre aspectos produtivos, nutricionais e ambientais (I)

Nas seguintes páxinas recolleemos a primeira entrega do noso traballo de investigación, levado a cabo co fin de explorar a influencia das sucesións de cultivos en varios indicadores ambientais en consonancia cos obxectivos da Política Agrícola Común (PAC) de reducir as emisións de N_2O e as emisións de gases de efecto invernadoiro.

Gregorio Salcedo¹, Daniel Salcedo-Rodríguez², Athanasia Varsaki³

¹CIFP La Granja, 39892 Heras, Cantabria, España

²INDRA, Departamento Sistemas de Información, Madrid, España

³Centro de Investigación e Formación Agrarias (CIFA) Cantabria, España

INTRODUCCIÓN

A intensificación da agricultura é unha resposta á crecente demanda de alimentos para satisfacer a demanda a unha poboación mundial en aumento. Polo xeral, esta formulación implica potenciar a utilización dos recursos e aumentar a produción agrícola por unidade de terra. Con todo, aínda que a intensificación pretende aumentar a produtividade, tamén pode ter efectos complexos e, ás veces, contraditorios sobre os alicerces da sostibilidade: o medio ambiente, o económico

e o social (Pretty, 2018; Pretty *et al.*, 2018; Rasmussen *et al.*, 2018). Por exemplo, a intensificación pode mellorar os beneficios económicos e aumentar a produción de alimentos (beneficios económicos e sociais), pero tamén podería conducir á degradación ambiental se non se xestiona de forma sostible (impacto ambiental). Do mesmo xeito, os debates ao redor da sostibilidade agrícola, a dimensión ambiental (baixa pegada ambiental) ou a dimensión económica (alto beneficio económico), mentres que o compoñente social (segu-

ridade alimentaria, benestar animal, benestar humano...) adoita pasarse por alto (Struik e Kuyper, 2017).

Daquela, é esencial que a intensificación agrícola deba equilibrarse coadunadamente cos principios de sostibilidade e aumentar a produtividade minimizando os danos ambientais e maximizando os beneficios sociais.

Para entender aquelas complexidades, é importante recoñecer que tanto “sostibilidade” coma “intensificación” son conceptos equívocos. Non é sorprendente, por tanto, que a combinación do substantivo “intensificación”

► É ESENCIAL QUE A INTENSIFICACIÓN AGRÍCOLA DEBA EQUILBRARSE COIDADOSAMENTE COS PRINCIPIOS DE SOSTIBILIDADE E AUMENTAR A PRODUTIVIDADE MINIMIZANDO OS DANOS AMBIENTAIS E MAXIMIZANDO OS BENEFICIOS SOCIAIS

co adxectivo “sostible” poida resultar aínda máis desconcertante. No entanto, a idea de “intensificación sostible” xa se definiu como a mellora da eficiencia dos insumos externos e a optimización da combinación de prácticas e tecnoloxías dentro do sistema de produción de cultivos (Xie *et al.*, 2019). Cando se aplica á produción gandeira, a intensificación sostible pode lograrse reducindo os impactos ambientais mediante a mellora da conversión de alimento en

leite (Bava *et al.*, 2014), ou aumentando a produción de forraxe por unidade de superficie (Gislon *et al.*, 2020), baseándose na redución dos custos (alicerce ambiental), o aumento da eficiencia da produción (alicerce económico) e o mantemento dun benestar animal e humano (alicerce social) (Balaine *et al.*, 2020).

Un aspecto significativo no que a intensificación sostible é particularmente relevante ocorre na gandería leiteira, xa que se considera que

xera importantes emisións de gases de efecto invernadoiro (GEI). A pegada de carbono (HC) introduciuse como métrica para rastrexar e xestionar estas emisións, normalmente expresadas normalmente en kg de CO₂ equivalente (Persson *et al.*, 2015).

Para avaliar a sostibilidade e orientar os esforzos cara ao desenvolvemento sostible, téñense en conta outras claves ambientais, coma o concepto relativamente novo da pegada de nitróxeno (HN) (Cucek *et al.*, 2015). A HN inclúe a pegada de nitróxeno total (HN_T) e a pegada de nitróxeno reactivo (HN_R). A primeira é a suma de todas as entradas de nitróxeno á explotación (pensos comprados, fertilizantes, fixación biolóxica, deposición atmosférica...); a segunda é a suma de amoníaco (NH₃), nitróxeno (N₂), óxido nítrico (NO) e nitrato (NO₃⁻) (Sutton *et al.*, 2011). A diferenza da pegada de carbono a pegada de nitróxeno non só se centra nos gases de efecto invernadoiro, senón que rastrea o ►



- Complemento energético líquido que **mejora la digestibilidad** de las raciones
- **Mejora** la apetencia e incrementa la ingesta
- **Estabiliza** el pH ruminal evitando enfermedades metabólicas



nitróxeno reactivo (N_r) e serve como ferramenta para cuantificar o impacto das actividades humanas na contaminación por nitróxeno. Isto inclúe a lixiviación por nitratos, un importante problema ambiental que afecta á calidade da auga en moitas zonas do mundo (Cameron *et al.*, 2013). Na gandería leiteira, a xestión eficiente do nitróxeno (N) é crucial. O N principalmente importado ás explotacións leiteiras a través dos pensos e os fertilizantes (Reinsch *et al.*, 2021; Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022). Os dous indicadores de N utilizados para caracterizar o rendemento das explotacións son a eficiencia no uso do N (NUE) e o excedente de N (Quemada *et al.*, 2020). A NUE compara as prácticas de xestión do N e indica o risco de perdas de N no medio ambiente (Powell *et al.*, 2010). Exprésase como a relación porcentual entre a produción de N respecto das entradas, representando así a porcentaxe de absorción de N. Pola contra, o excedente de N defínese como a diferenza entre a entradas e saídas de N. Indica a cantidade de nitróxeno que se absorbe e por diferenza a cantidade de nitróxeno que se perde no medio ambiente en lugar de ser utilizado eficazmente dentro do sistema (de Klein *et al.*, 2017). A NUE é tamén un indicador de eficiencia, xa que avalía a proporción do N importado anualmente á explotación que se asimila e incorpora efectivamente na biomasa vexetal ou na produción de leite. Existen diferentes escalas ás que pode medir a NUE, cada unha das cales proporciona perspectivas únicas. A escala de explotación ($NUE_{\text{explotación}}$) mide a eficiencia do uso do nitróxeno en toda a explotación. Ten en conta todas as entradas de nitróxeno, como os fertilizantes e os pensos, e as saídas de nitróxeno, coma o rendemento dos cultivos e a produción de leite (Quemada *et al.*, 2020).

Esta perspectiva axuda a identificar áreas nas que pode mellorarse a xestión do nitróxeno para reducir as perdas.

A situación no norte de España ilustra estes principios na práctica, xa que as explotacións leiteiras desta rexión non son unha excepción á tendencia da intensificación, que ha ir unida ao desenvolvemento do ensilado de millo, ás forraxes ferti-



► PARA AVALIAR A SOSTIBILIDADE E ORIENTAR OS ESFORZOS DO DESENVOLVEMENTO SOSTIBLE, TÉÑENSE EN CONTA OUTRAS CLAVES AMBIENTAIS, COMA O CONCEPTO RELATIVAMENTE NOVO DA PEGADA DE NITRÓXENO (HN)

lizadas de forma intensiva, e a un aumento tanto das cargas gandeiras coma da suplementación con concentrado das vacas leiteiras.

Existen **cinco tipoloxías distintas de produción leiteira** na costa atlántica de España (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022), definidas polo tipo de alimentación do rabaño:

- i) **Sistemas leiteiros ecolóxicos (ECO)**, con dietas baseadas no pastoreo e o 100 % da base territorial dedicada a praderías
- ii) **Sistemas leiteiros convencionais con pastos (C-P)**, similares ao ECO en canto a termos de tipo de dieta e uso territorial
- iii) **Sistemas leiteiros de ensilado de herba (EHb)** con dietas baseadas en ensilado de herba, dedicando o 71,4 % da base territorial ao ensilado de herba e só o 28,5 % ao pastoreo
- iv) **Sistemas leiteiros intensivos con dietas a base de ensilado de millo (EMz)**, con millo como principal cultivo da explotación e as vacas aloxadas no interior durante todo o ano
- v) **Sistemas leiteiros intensivos con dietas a base de ensilado de herba e millo (EHb-EMz)**, coas vacas estabuladas do mesmo xeito que nos sistemas EMz

Debido ás tendencias de intensificación, o número das explotacións leiteiras extensivas (ECO e C-P) están a diminuír, mentres as intensivas están aumentando. A sucesión de millo e raigrás italiano representa o $56,1 \pm 26$ %

da superficie total das explotacións leiteiras do norte de España. Mentres tanto, as compras de pensos supoñen o $50,1 \pm 10,8$ % da dieta, correspondendo o $84,6 \pm 9,5$ % a concentrados (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022).

A compra de pensos é elevada, o que indica a necesidade de minimizar os insumos externos para aumentar os beneficios. A intensificación forraxeira e a optimización da produción de forraxe poderían ser estratexias interesantes de cara á sostibilidade económica e ambiental (Gislon *et al.*, 2020), co obxectivo de aumentar a produción de leite por vaca mediante a optimización da produción e a minimización dos insumos externos do sistema gandeiro (Xie *et al.*, 2019).

Para afondar niso, neste traballo simúlase o efecto produtivo, nutricional e ambiental tras a intensificación sostible da forraxe nas dúas tipoloxías de sistemas lácteos intensivos descritas para a costa norte atlántica de España, utilizando o modelo DairyCant (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022). Numerosas explotacións da zona realizan unha sucesión de cultivos de millo con raigrás italiano, nomeadamente as situadas en zonas baixas con fácil acceso á mecanización. Neste estudo analizouse o resultado da incorporación de leguminosas nas sucesións de millo ►

GALICAL

CALES E CARBONATOS AGRÍCOLAS

CARBONATO CÁLCICO

- Camas hixiénicas
- Eficaz na **reducción de mamites ambientais e dermatites**

HIDRÓXIDO CÁLCICO

- Secante de **alta absorción**

MESTURA CON SERRADURAS E CASCA

- Comodidade e **hixiene**

UN DESCANSIÑO
CAMAS DE VACÚN

Transporte a calquera punto de España e Portugal

AGORA CON
DESINFECTANTE



ENCALADO AGRÍCOLA · ENVASADO DE CALES E DOLOMÍAS · ALIMENTACIÓN ANIMAL · CAMAS DE VACÚN



GALICAL CALES E CARBONATOS AGRÍCOLAS SL

📍 R/ Gallastegui Unamuno. Vial G - N.º 7, Polígono Industrial As Gándaras, 27003 Lugo

☎ 982 221 484

✉ info@galical.es



www.galical.es

e cultivos forraxeiros de inverno (CFI), reducindo, ao tempo, o consumo de concentrado.

Este enfoque pretende determinar a eficacia da intensificación forraxeira para minimizar a dependencia das importacións de pensos e como estratexia para reducir as perdas de nitróxeno e as emisións de gases de efecto invernadoiro. Ata onde sabemos este é o primeiro estudo sobre a intensificación forraxeira sostible de explotacións leiteiras no norte de España.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Explotacións e localización dos casos de estudo

As explotacións de vacún de leite aquí analizadas están situadas na costa atlántica norte de España e abarcan dous tipos de sistemas intensivos da zona: i) sistemas intensivos de vacún de leite que aplican unha dieta baseada en ensilado de millo (EMz, n = 11), sendo o millo o principal cultivo da explotación e ii) sistemas leiteiros intensivos que aplican unha dieta baseada en ensilado de herba e ensilado de millo (EHb-EMz, n = 12). A clasificación baséase nos datos obtidos nos estudos de campo descritos anteriormente (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022). Brevemente, na fase inicial do estudo, os agricultores foron entrevistados in situ sobre unha serie de preguntas relacionadas cos temas de: i) a localización da explotación, ii) a base territorial e a produción forraxeira, iii) a fertilización, iv) a composición e xestión do rabaño, v) alimentación dos animais, vi) produción de leite e a súa composición química, vii) consumo de enerxía e viii) información complementaria coma a análise química dos pensos, os xurros e do chan.

A segunda parte do estudo consistiu na tipificación dos sistemas de alimentación das explotacións da cornixa cantábrica mediante técnicas de análises multivariante (análises de compoñentes principais, ACP) (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022).

Analizáronse os datos das enquisas dun total de 54 explotacións, con 23 granxas seleccionadas coma as máis intensivas: 11 seleccionadas como as de millo ensilado (EMz, n = 11) e 12 seleccionadas coma as de herba ensilada-millo (EHb-EMz, n = 12).



Táboa 1. Características técnico-productivas das explotacións usadas para modelar

Características	EMz	EHb-EMz
Vacas leiteiras en produción	149	111
Dieta do rabaño		
Herba verde, %	0,64	1,4
Ensilado de herba, %	17,1	20,7
Ensilado de millo, %	33,1	25,8
Herba seca, %	5,0	3,7
Concentrados, %	44,0	48,2
Soia, kg día	0,92	1,13
Superficie		
Herba, %	13,6	9,3
Ensilado herba, %	59,1	57,3
Millo, %	65,2	47,8
CFI, %	71,8	57,9
Millo-Raigrás, has	27,2	21,8
Herba, t MS ha ⁻¹	1,8	2,0
Outras forraxes, t MS ha ⁻¹	8,6	6,9
Compra concentrados, t ha ⁻¹	10,7	11,7
Compra forraxes, t ha ⁻¹	2,6	2,3
Compra fertilizantes, kg N ha ⁻¹	126,2	115,6
Compra fertilizantes, kg P ha ⁻¹	47,7	30,3
Compra fertilizantes, kg K ha ⁻¹	49,3	10,4
Produción de leite corrixido por graxa e proteína (t ano ⁻¹)	1764	1260

CFI: cultivos forraxeiros de inverno

2.2. Modelo de simulación e escenarios

As explotacións simuláronse utilizando o modelo DairyCant (Salcedo, 2020; Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022). Cada tipoloxía representouse no DairyCant coma unha explotación modelo media coas principais características principais descritas anteriormente (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022) e brevemente na táboa 1.

Mantivéronse as mesmas características para os escenarios, cambian- do unicamente a superficie de cultivo de millo en sucesión con CFI e a dieta do rabaño en función da forraxe producida na explotación. Os escenarios (ESC) de millo en sucesión con CFI consistiu en substituír a superficie de pradeiras por pratenses de inverno

(raigrás italiano e trevo en sementei- ra pura ou trevo) e cereais de inverno asociados ou non a leguminosas (sete escenarios, ESC1-ESC7). En cada es- cenario, o número de vacas leiteiras foi modificado segundo a produción forraxeira de cada sucesión e a canti- dade de animais que podían alimen- tarse na explotación, dando sete (7) escenarios máis (ESC8-ESC14). Can- do se substitúe parcialmente o con- centrado por forraxe, utilizáronse as mesmas sucesións, dando 14 esce- narios máis: reducir concentrado un 15 % as sucesións anteriores (ESC15- ESC21) e cando se reduciu o 30 %, as sucesións anteriores preséntanse como escenarios ESC22-ESC28.

Todas as simulacións se executan ao longo dun ano e unha sucesión ►



Timet® & Relys® 50: el desempeño productivo es un juego en equipo



Una combinación ganadora para un rendimiento óptimo.

Los aminoácidos protegidos contra el rumen de Vetagro, **Timet®** (Metionina) y **Relys® 50** (Lisina), trabajan juntos como un equipo perfectamente sincronizado, ayudando a las vacas lecheras a alcanzar su mejor potencial.

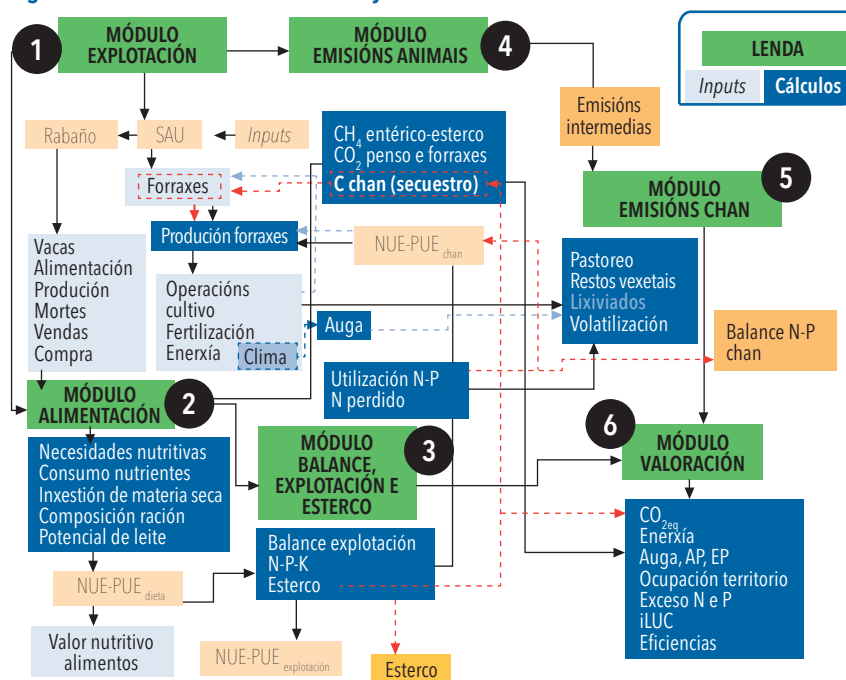
Distribuidor en Portugal y España:
inove.tec@reagro.pt
www.reagro.pt



► TODAS AS SIMULACIÓNS EXECÚTANSE AO LONGO DO ANO E UNHA SUCESIÓN DE CULTIVOS, AVALIÁNDOSE INDICADORES PRODUTIVOS, NUTRICIONAIS E AMBIENTAIS



Figura 1. Modelo de simulación DairyCant



de cultivos, avaliándose indicadores produtivos, nutricionais e ambientais. Cada indicador vén expresado con base nun quilogramo de leite corrixido en graxa e proteína (FPCM), estandarizado por un 4 % de graxa e un 3 % de proteína, utilizando a ecuación 1 [Ec. 1] (IDF, 2022) e un quilogramo de materia seca de forraxe producida.

As características produtivas e reprodutivas das vacas leiteiras utilizadas nos distintos escenarios dentro de cada tipoloxía foi a mesma que a liña de base ou orixe (650 kg de peso vivo, na 24.^a semana de lactación, 2,5 lactacións con parto continuo, 362 días de lactación e 431 días de intervalo entre de parto.

2.3. Configuración do modelo e límites do sistema

O DairyCant é un modelo empírico que simula a xestión da produción e aspectos ambientais das explotacións de vacún de leite (figura 1).

O modelo componse dos seguintes módulos: (i) o módulo de granxa, quen simula o potencial forraxeiro da explotación e o seu destino (herba seca, ensilado ou pastoreo); (ii) o módulo de alimentación simula as necesidades nutricionais, estimación do consumo de pastos e valoración potencial da produción de leite a partir da dieta establecida; (iii) o módulo de balance da explotación e o esterco simula a produción de esterco, a excreción de nitróxeno (N) e fósforo (P) e as súas eficiencias; (iv) o módulo de emisións animais, (v) o módulo de emisións ao chan e (vi) o módulo de avaliación (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022). Os datos necesarios para a modelización obtivéronse a partir de estudos de campo de explotacións leiteiras individuais que dispuñan de información do uso

$$\text{FPCM (kg/d)} = \text{Leite (kg/d)} \times (0,1226 \times \% \text{ graxa} + 0,0776 \times \% \text{ proteína} + 0,2354)$$

1

do chan, as instalacións de muxido, a composición do rabaño produción de leite, xestión do esterco e dieta do rabaño (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022). As operacións agrícolas utilizadas para a modelización móstranse na táboa 2 (páx. seg.). Brevemente, un laboreo profundo con vesadoiro e dous labores superficiais con vesadoiro para todos os cultivos.

Asumiuse unha fertilización nitroxenada de 135 kg/ha para o millo e de 30 kg/ha para CFI, excepto para o trevo *incarnatum*, que non o recibe.

A fertilización orgánica estimouse mediante DairyCant (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022), aplicando o 31 % dos xurros producidos ao CFI e o 69 % ao millo, equivalente a 535-32-343 kg de N-P-K por

hectárea e ano en toda a sucesión de cultivos. Esta cantidade obtívose durante as simulacións da liña de base para alcanzar os rendementos forraxeiros indicados nas enquisas aos gandeiros. A mesma cantidade mantívose para os escenarios. Consideráronse dous aproveitamentos nas praderías e unha nos cereais de inverno, segadas en ambos os casos ao comezo do espigado e na fase reprodutiva R5 en millo (gran en liña de leite a 1/3 cara á punta do gran). Todas as forraxes foron fermentadas en silos de gabia, utilizando unha dobre capa de plástico e o emprego de bacterias lácticas coma conservantes excepto o millo.

Para os efectos de modelización, elixiuse Santander como localidade

representativa da rexión, coas condicións climáticas que se mostran na figura 2 (AEMET, 2015). Os xurros son aplicados ao campo da mesma maneira en todos os escenarios e na liña de base, sen cambios na xestión.

2.4. Dieta de referencia e modificación da dieta en cada escenario

Os dietas das vacas leiteiras (kg MS vaca e día) para cada tipoloxía (liña de base e escenarios) figuran na táboa 3. As dietas de referencia baseáronse na información facilitada polos gandeiros. As dietas de cada escenario determináronse substituíndo a herba seca e a palla de cereais da dieta de referencia por ensilado de CFI e ensilado de millo en cantidades iguais. Os escenarios onde se reduciu o penso un 15 % e 30 % incrementouse a mesma cantidade en materia seca a partes iguais entre os ensilados de millo e cultivos forraxeiros de inverno.

As necesidades de forraxe dos CFI e millo (kg de MS) con fins de alimentación (FR: necesidades de alimentación) na explotación calculáronse mediante a ecuación 2 [Ec. 2].

A inxestión potencial de forraxe para as vacas leiteiras calculouse de acordo co seu contido de fibra deterxente neutro (FND), considerando 1 kg de FND_{forraxe} por 100 kg de peso vivo (NRC, 2021) e o tempo necesario para inxerir 1 kg de FND_{forraxe} segundo a ecuación 3 [Ec. 3] (Mertens, 1997).

2.5. Estimación da produción de forraxe

Asumíronse unhas perdas de MS do 7 % debidas á fermentación para o CFI e o millo (Salcedo *et al.*, 2009) [Ec. 4].

A produción de biomasa da base e dos escenarios estimouse mediante DairyCant (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022), utilizando as seguintes ecuacións (Salcedo, 2020), CFI, (kg DM ha) [ecuacións 6, 7 e 8, páx. seg.].

2.6. Ecuacións utilizadas para calcular a NUE e a PUE

A eficiencia de utilización do N (NUE_{explotación}) e a do fósforo (PUE_{explotación}) estimáronse co modelo DairyCant utilizando as ecuacións 9 e 10.

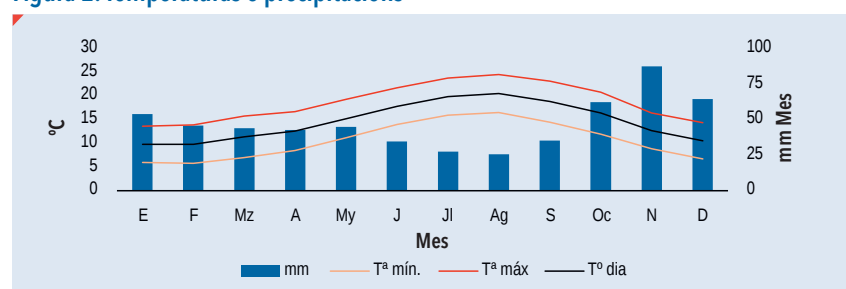
A eficiencia de utilización do N da dieta (NUE_{dieta}) e do fósforo inxerido (PUE_{dieta}) estimáronse mediante as ecuacións 11 e 12. ►

Táboa 2. Operacións agrícolas dos cultivos forraxeiros

	Mz	Rit-Tbr	Trb	Rit	Tri-Hab	Tri	Vz-Av	Av
Operacións de cultivo								
Superficial	2	2	2	2	2	2	2	2
Profundo	1	1	1	1	1	1	1	1
Orgánica, m ³ ha ⁻¹	60	30	30	30	30	30	30	30
Química, kg N ha ⁻¹	135	30	-	30	30	30	30	30
Data sementeira	Maio	Out.	Out.	Out.	Out.	Out.	Out.	Out.
N.º plantas ha ⁻¹	90.000	-	-	-	-	-	-	-
Sementes, kg	-	31,5-10,5	17	42	115-65	180	115-65	180
Herbicida, l ha ⁻¹	3,75 ^A	-	-	-	-	-	-	-
Recolección	Se	Fb - Ab	Ab	Fb - Ab	Ab	Ab	Ab	Ab
MS, t ha ⁻¹	13	7,1	5,6	8,1	7,7	7,7	7	7,5

Mz: millo; Ri: raigrás italiano; Trb: trevo encarnado; Tri: tritcale; Hab: fabas; Vz: veza e Av: aveia. ^A: S-metolacloz + terbutilazina + sulcotriona

Figura 2. Temperaturas e precipitacións



Táboa 3. Produción de materia seca, composición química dos alimentos¹

Cultivos forraxeiros	MS, t/ha (O _i)	MS, t/ha (N _i)	PB, g/kg MS	FND, g/kg MS	MOD, g/kg MS	ENL, Mcal/kg MS	P, g/kg MS
Millo	13,4	12,5	79	403	689	1,53	2,3
Herba	5,1	4,7	114	603	546	1,3	2,8
Raigrás italiano	5,8	5,4	92	493	692	1,46	3,3
Raigrás italiano + Trevo	7,1	6,6	120	470	668	1,34	3,5
Trevo	7,2	6,7	209	301	710	1,42	2,6
Triticale + fabas	7,7	7,2	119	614	578	1,37	2,2
Triticale	7,7	7,2	102	585	548	1,24	2,9
Avea + veza	7,0	6,5	131	575	576	1,36	2,8
Avea	9,0	8,4	94	595	55,6	1,32	3,1
Concentrado EHBA-EMz ²	-	-	207	251	774	1,96	5,7
Concentrado EMz ²	-	-	228	238	768	1,84	6,3
Concentrado EHBA-EMz ³	-	-	240	262	772	1,86	5,8
Concentrado EMz ³	-	-	230	173	760	1,81	6,7
Concentrado EHBA-EMz ⁴	-	-	215	199	796	1,90	6,9
Concentrado EMz ⁴	-	-	217	236	775	1,80	7,9

¹ Valores do DairyCant (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022); O_i: oferta; N_i: neta PB: proteína bruta; FND: fibra neutro deterxente; MOD: materia orgánica dixestible; ENL: enerxía neta leite; P: fósforo; ²: concentrado vacas leiteiras tipoloxías EHBA-EMz e EMz; ³: concentrado vacas secas tipoloxías EHBA-EMz e EMz; ⁴: concentrado xovencas menores e maiores dun ano tipoloxías EHBA-EMz e EMz

$$\text{kg MS} = (\text{kg MS CFI animal día}) + (\text{kg MS millo animal día}) \times (\text{total animais}) \times 365 \text{ días}$$

2

$$\text{Minutos (kg FND}_{\text{forraxe}}) = 1,5 + 2,37 (\% \text{ FND}_{\text{forraxe}})$$

3

$$\text{MS (kg/ha)} = [\text{kg CFI (MS/ha)} - 7\% \text{ perdas}] + [\text{kg millo (MS/ha)} - 7\% \text{ perdas}] \times \text{hectáreas}$$

4

► A PRODUCCIÓN MEDIA TEÓRICA DE LEITE POR VACA E DÍA PARA CADA ESCENARIO ESTIMOUSE MEDIANTE O MODELO DAIRYCANT TENDO EN CONTA O CONSUMO DE PENSO, A ENERXÍA NETA DIARIA DO LEITE E A PROTEÍNA BRUTA INXERIDA

Millo (kg MS ha): $21.701 - (155,2 \times \text{días de cultivo}) + (15,6 \times \text{kg N mineral}) + (449 \times T^{\circ} \text{ media}) + (3,13 \times \text{exceso de auga})$ **5**

a) $4139 + (38,4 \times \text{días cultivo}) + (194,1 \times T^{\circ} \text{ media})$; ± 405 , $r^2 = 0,94$, para o raigrás **6**

b) $8695 + (76,5 \times \text{días cultivo}) + (60,9 \times T^{\circ} \text{ media}) + (11,6 \times \text{kg N mineral ha})$ para os CFI **7**

c) $3545 + (15,3 \times \text{días cultivo}) + (4,7 \times \text{horas de calor acumuladas})$ para o trevo **8**

$NUE_{\text{explotación}} (\%) = [(N \text{ saídas, kg N ha}) / (N \text{ entradas, kg N ha})] \times 100$ **9**

$PUE_{\text{explotación}} (\%) = [(P \text{ saídas, kg P ha}) / (P \text{ entradas, kg P ha})] \times 100$ **10**

$NUE_{\text{dieta}} (\%) = [N \text{ excretado en leite} / (N \text{ inxerido polas vacas en lactación})] \times 100$ **11**

$PUE_{\text{dieta}} (\%) = [P \text{ excretado en leite} / (P \text{ inxerido polas vacas lactantes})]$ **12**

Asumiuse unha concentración de fósforo para o leite do 0,09 % (NRC, 2021). A produción media teórica de leite por vaca e día para cada escenario estimouse mediante o modelo DairyCant tendo en conta o consumo de penso, a enerxía neta diaria do leite e a proteína bruta inxerida.

2.7. Estatística

Utilizouse o modelo lineal xeneralizado (GLM) para comparar as variables produtivas nutritivas e ambientais por tipoloxía (T), escenario (ES) e concentrado (C) segundo o modelo:

- $Y_{ijklm} = m + T_i + ES_j + C_k + e_{ijklm}$
- Y_{ijklm} : variable dependente; m: media global; T_j : efecto da tipoloxía; ES_j : efecto do cultivo forraxeiro; C_k : efecto da redución do concentrado; e_{ijklm} : erro residual

Os efectos lineais ou cuadráticos de cada escenario (forraxe x concentrado) analizáronse mediante a proba de contrastes ortogonais. As diferenzas entre os valores medios analizáronse mediante a proba de Tukey. Todas as análises estatísticas se realizaron con datos simulados.

3. RESULTADOS

Os resultados avalían os aspectos produtivos, nutricionais e ambientais dos escenarios estudados e exprésanse como a variación porcentual dos valores estimados en cada escenario respecto dos da situación de partida de cada tipoloxía. Os resultados móstranse nas figuras 4 e 5 para as tipoloxías EHb-EMz e EMz, respectivamente.

3.1. Aspectos da produción na explotación

3.1.1. Producción de forraxe e aspectos nutricionais

Os valores in vitro de materia orgánica digestible (MOD), proteína bruta (PB), enerxía neta de lactación (ENL) e fibra neutro deterxente da forraxe (FDN_p) das diferentes forraxes en ambas as tipoloxías (base e escenarios) estimáronse mediante o modelo DairyCant (táboa 2). As estimacións baseáronse na información incorporada na base de datos de DairyCant relativa á composición química e bromatolóxica das forraxes producidas na rexión de Cantabria. A materia orgánica dixerxible in vitro e a proteína bruta máis elevada atopáronse na sucesión de millo con trevo *incarnatum* (táboa 3). Mentres tanto, os cereais de inverno en sementeira pura ou asociados a leguminosas mostraron similar valor nutritivo con respecto ao ensilado de herba da liña de base (táboa 3).

Os escenarios forraxeiros simulados mostraron un aumento do 85,7 % e do 61,6 % de materia seca forraxeira por hectárea con respecto á base para a tipoloxía EHb-EMz e EMz, respectivamente (figura 3). A maior dispoñibilidade de biomasa e o seu valor nutritivo estimado respecto da base en ambas as tipoloxías podería permitir substituír parcialmente o concentrado por forraxe producida na explotación e reducir parte de a compra doutras forraxes.

A substitución de concentrado por forraxe supuxo 578 kg de materia

seca por vaca e ano menos nos escenarios ESC15-ESC21 e 1131 kg nos escenarios ESC22-ESC28 (táboa 4).

O rendemento de materia seca forraxeira foi maior no escenario millo con avea en ambas as tipoloxías, con valores de 22.474 kg/ha de MS para a tipoloxía EHb-EMz e 22.271 kg/ha de MS para a tipoloxía EMz (escenario ESC4, figura 3). O escenario millo con raigrás italiano en sementeira pura mostrou o menor rendemento de materia seca por hectárea, con valores de 19.246 kg/ha de MS para a tipoloxía EHb-EMz e 19.044 kg/ha de MS para a tipoloxía EMz (escenario ESC1, figura 3).

A menor inxestión de concentrado nos escenarios ESC15-ESC28 xunto cunha maior DMO, PB, ENL e unha menor FDN_p nos ensilados de forraxes de inverno en comparación cos ensilados de herba (táboa 3), similar inxestión de materia seca por vaca e día en comparación coa base das tipoloxías EHb-EMz e EMz. En xeral, a inxestión de materia seca por vaca e día diminuíría lixeiramente nunha media do 0,1 % para a tipoloxía EHb-EMz e un 0,3 % para a tipoloxía EMz, sen diferenzas entre tipoloxías e escenarios (figuras 4 e 5).

A inxestión de FND da forraxe por 100 kg de peso vivo veríase aumentaría linealmente ($P < 0,001$) unha media do 15,1 % para a tipoloxía EHb-EMz 3,7 % para a tipoloxía EMz, con diferenzas estatisticamente significativas entre tipoloxías e escenarios (figuras 4 e 5). Unha vez máis, os escenarios que implican sucesión de millo con trevo *incarnatum* en ►



KESSENT® y LysiGEM™

LIDERANDO UNA
GANADERÍA MÁS SOSTENIBLE

La metionina y la lisina son los dos aminoácidos esenciales más limitantes para la producción lechera en los rumiantes.

Los beneficios de la metionina y la lisina son bien conocidos pero, cuando se utilizan de forma concertada, proporcionan beneficios adicionales más allá de la suplementación con el aminoácido individual. Sin su inclusión nunca podremos llegar a maximizar ni optimizar nuestra producción.

KEMIN, como único proveedor de metionina y lisina ampliamente contrastadas, pone a su disposición KESSENT y LYSIGEM.

KEMIN
RUMINANT
ESSENTIALITIES

[kemin.com/
ruminant-essentialities](https://kemin.com/ruminant-essentialities)



Figura 4. Aspectos productivos, nutricionais e ambientais dos escenarios estudados, expresados como a variación porcentual dos valores estimados en cada escenario respecto dos estimados na situación de partida para a tipoloxía Ehb-EMz

	ES 1	ES 2	ES 3	ES 4	ES 5	ES 6	ES 7	ES 8	ES 9	ES 10	ES 11	ES 12	ES 13	ES 14	ES 15	ES 16	ES 17	ES 18	ES 19	ES 20	ES 21	ES 22	ES 23	ES 24	ES 25	ES 26	ES 27	ES 28
Surplus P (g/kg leite)	-39	-25,4	-32,2	-30,5	-30,5	-30,5	-30,5	-47,5	-55,9	-55,9	-61	-76,3	-54,2	-55,9	-84,7	-88,1	-94,9	-96,6	-110,2	-89,8	-89,8	-116,9	120,3	-128,8	-135,6	-145,8	-127,1	-127,1
Surplus P (g/kg forraje)	-59,4	-53,4	-57,9	-60,2	-57,1	-58,6	-58,6	-60,2	-63,9	-66,9	-70,7	-81,2	-65,4	-65,4	-89,5	-91	-96,2	-97,7	-108,3	-93,2	-91,7	-110,5	-114,3	-117,3	-121,1	-132,3	-115,8	-116,5
Surplus N (g/kg leite)	-15	-11,9	-11	-12	-12,3	-12	-12	-23,4	-31,6	-24,1	-26,9	-32,7	-26,5	-27,3	-34,9	-37,8	-30,6	-32,7	-39,1	-32,4	-37,7	-40,4	-45,2	-36,7	-40	-46,4	-39,7	-41,1
Surplus N (g/kg forraje)	-43,6	-45,4	-45,4	-50,3	-45,9	-47,7	-47,6	-41,4	-42,9	-43	-44,6	-46,9	-43,2	-43,2	-52,7	-53,1	-53,5	-54,6	-52,3	-53,5	-53,3	-62,2	-63	-63	-63,9	-62,7	-63,2	-63,4
PUE _{explotación} (%)	10,1	19,5	20,6	21,3	12,5	20,4	19,3	7,2	15,5	16	15,1	7,4	14,7	17,1	9,4	17,1	18	16,5	9,3	16,5	15,5	19,2	11,5	19,7	18,3	11,4	18,4	17,6
PUE _{dieta} (%)	-3,2	0,6	2,4	-1,6	-0,2	-1	-10	-7,8	2,2	-7,8	-7,1	-3,1	-5,1	-0,7	-7,1	4,4	-8,2	-6,6	-1,6	-4,1	1	-1,5	1,8	-7,7	-5,4	0	-2,8	2,9
Off-farm (m ² /kg leite)	-16,9	-14,5	-14,5	-15,3	-15,3	-15,3	-15,3	-12,1	18,5	-5,6	-14,5	-0,8	8,9	-13,7	-29	-35,5	18,5	-29,8	-38,3	-29	-30,6	-41,9	-44,4	-35,5	-37,1	-44,4	-38,7	-43,5
NUE _{explotación} (%)	2,2	1,1	0,8	1,1	1,2	1,1	1,1	-1,8	3,2	-1,8	0,1	2,8	-0,4	0,1	3,2	5	0,9	1,3	4,6	1,4	5,2	7,2	4	1,7	3,3	6,2	3,3	4,1
NUE _{dieta} (%)	3,8	-10	3,7	2,9	-1,4	2,4	2,6	0,3	-8,4	-0,3	-0,7	-3	-0,9	-2,4	1,4	-8,5	0,6	0,3	-2,4	-0,1	-1,3	6,4	-8,1	2	1,3	-1,2		
HNT (g/kg leite)	-7,3	-5	-4,8	-5,4	-5,5	-5,4	-5,2	-13,1	-21,5	-12,9	-15,5	-20	-15,4	-16,2	-21,1	-23,7	-15,2	-16,7	-22,5	-17,2	-23,8	-22,5	-27,4	-16,8	-19,6	-25,6	-20,1	-21,7
HNT (g/kg forraje)	-38,5	-41,1	-41,5	-46,5	-41,7	-43,8	-43,6	-33,5	-31,5	-34,6	-35,8	-36,9	-34,6	-34,6	-42,7	-42,5	-43,2	-43,8	-39,2	-43,1	-42,9	-50,9	-50,9	-51,4	-51,7	-48,1	-51,3	-51,4
HNr (g/kg leite)	0	1,9	0	0	0,5	0,3	1,6	-1,6	-7,9	0	-2,7	-4,1	-2,5	-3,3	-3,8	-4,4	1,4	4,1	0	2,5	-5,8	1,1	-1,9	10,1	8,2	3,8	6,6	5,2
HNr (g/kg forraje)	-33,7	-36,8	-38,6	-40,4	-39,6	-43,5	-38	-24,7	-23,3	-25	-26,2	-24,4	-24,7	-24,5	-30,2	-28	-32,2	-29,8	-21,6	-29,6	-29,4	-35,9	-33,6	-35,7	-35	-27,6	-35	-34,7
N ₂ O (g/kg leite)	-3,6	2,2	-3,6	13	4,3	1,4	-3,6	-5,8	-15,9	-7,2	-11,6	-13	-10,1	-11,6	-2,9	-14,5	-5,1	-8	-10,9	-8	-9,4	-5,8	-13	-0,7	-5,8	-8,7	-5,1	-7,2
Leite vaca (kg/d)	-5,7	2	-8,6	-7,3	-3,9	-5,7	17,3	-5,4	2,8	-6,9	-6,1	-2,7	-4,7	-3,7	-10,4	-0,7	-11,8	-11,3	-6,9	-9,4	-7,5	-13,8	-3,4	-15,7	-14,7	-10,2	-12,9	-11,5
Leite (t/ano)	-5,7	2	-8,6	-7,3	-3,9	-5,7	-3,7	9	27,8	14,1	26,1	19,2	21	22,3	-3,9	15,4	1,7	12	-1	7,8	10	-15,4	3,5	-11,2	-0,1	-5,4	-4,3	-2,7
iLUC (kg CO ₂ /kg leite)	-16,9	-14,1	-14,7	-14,7	-15,3	-14,7	-14,7	-25,4	28,8	-18,1	-20,3	-28,8	-22	-28,2	-32,8	-37,3	-26,6	-29,4	-37,9	-30,5	-32,2	-16,9	-14,1	-14,7	-14,7	-15,3	-14,7	-14,7
iLUC (kg CO ₂ /kg forraje)	-51,7	-53,2	-53,9	-57,8	-54,1	-55,6	-55,4	-52,3	-52,8	-51,9	-53	-50,8	-52,8	-52,5	-62,5	-62,9	-62,3	-62,7	-61,8	-62,9	-62,9	-51,7	-53,2	-53,9	-57,8	-54,1	-55,6	-55,4
FNDf (kg/100 kg PV)	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	-1,3	-3,7	4	6,8	6,8	5,2	7,2	9,3	6,8	15,5	17,8	15,6	16,8	19,3	21,6	18,5	27	31,4	29	30,3	33,1
MS consumida (kg/vaca día)	-0,1	0	-0,1	0	0	0	-0,2	-0,1	0	-0,1	0	0	0	-0,2	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	-0,3	-0,4	0	0	0,1	0	0,1	0,2	0,1	0,3
Vacas de leite (n.º)	0	0	0	0	0	0	0	15,3	24,3	22,5	34,2	22,5	27	27	7,2	16,2	15,3	26,1	6,3	18,9	18,9	-1,8	7,2	5,4	17	5,4	9,9	9,9
CO _{2e} (kg/kg leite)	-1,7	-0,2	-3,8	-2,5	-1,6	-3,3	6,1	1,5	-9,5	1,1	-2,4	-3,6	-3,6	-2,7	4,5	-5,6	3,2	0,8	-1,5	-1,5	-0,6	0,7	-5	6,7	27	0,5	0,3	1,7
CO _{2e} (kg/kg forraje)	-19,4	-25,4	-31,4	-33,9	-24,4	-27,7	-27,5	-20,8	-26,3	-25,2	-23,5	-23,8	-25,5	-29,9	-23,5	-28,6	-28	-25,3	-17,9	-28	-32,3	-26,3	-31,1	-30,2	-27,5	-20,7	-30,3	-34,9
CO ₂ (g/kg leite)	-3,1	-1,5	-6,1	-3,3	-5,7	-1	-1,2	-1,9	-18,8	-2,7	-1,1	-8,4	-4,6	-8,4	-12,6	-3,1	-4,2	-1,1	-10	-5,7	-10,3	-9,6	-16,1	-6,1	-2,7	-11,9	-7,7	-12,6
CH ₄ (kg/kg leite)	0	0	-2,4	-6,4	-0,9	-5,9	13,4	5,9	-2	5,9	-0,2	2,2	-0,9	3,5	11,2	1,3	10	4,8	6,4	3,1	7,9	8,8	4	16,5	8,6	10,6	6,6	12,8

Os escenarios ESC1-ESC7: sucesión de millo con: ESC1: raigrás italiano; ESC2: trevo *incarnatum*, ESC3: raigrás italiano + trevo *incarnatum*; ESC4: aveia; ESC5: aveia + veza; ESC6: tritcale; ESC7: tritcale + fabas; SCE8-SC14: mesmas sucesións que ESC1-ESC7, con igual número de vacas e igual consumo de penso á base ou orixe; ESC15-ESC21: igual que ESC8-ESC14, cunha redución 15 % de concentrado; ESC22-ESC28: igual que SCE8-SCE14, cunha redución do 30 % de concentrado



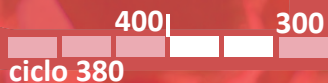
Variedades de MAÍZ recomendadas en GALICIA

Sciello



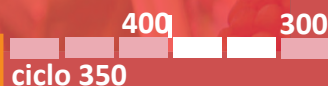
Doble aptitud

Foxway



Doble aptitud

Ilustrado



Grano

Pompeo



Doble aptitud

Filmeno



Doble aptitud

Conbrio



Doble aptitud

Figura 5. Aspectos produtivos, nutricionais e ambientais dos escenarios estudados, expresados como a variación porcentual dos valores estimados en cada escenario respecto dos estimados na situación de partida para a tipoloxía EMz

	ES 1	ES 2	ES 3	ES 4	ES 5	ES 6	ES 7	ES 8	ES 9	ES 10	ES 11	ES 12	ES 13	ES 14	ES 15	ES 16	ES 17	ES 18	ES 19	ES 20	ES 21	ES 22	ES 23	ES 24	ES 25	ES 26	ES 27	ES 28
Surplus P (g/kg leite)	-1,8	-1,8	22,4	-2,4	-2,4	-1,2	-2,4	-3,0	-39,4	-3,0	-3,0	-42,9	-39,4	-4,0	-38,2	-48,8	-41,8	-52,4	-54,1	-49,4	-5,0	-38,2	-52,9	-45,9	-54,1	-57,1	-52,4	-52,9
Surplus P (g/kg forraje)	-35,1	-39,4	-25	-44,6	-9,1	-38,4	-9,1	-43,9	-48,1	-45,7	-53,2	-53,5	-51,1	-5,0	-57,4	-61,7	-62	-67	-63,8	-64,5	-63,8	-60,9	-67	-66	-71,3	-68,4	-68,9	-68,1
Surplus N (g/kg leite)	-1,4	-1,7	20,9	-1,6	-1,6	-0,9	-1,6	-16,7	-22,5	-13,3	-5,2	-22,5	-20,7	-21,1	-22,7	-31,1	-20,7	-27,9	-3,0	-27,6	-28,4	-27	-36,3	-28,7	-31,6	-35,4	-32,5	-33,5
Surplus N (g/kg forraje)	-34,6	-39,1	-25,8	-44,4	-8,5	-38,3	-8,5	-33,2	-33,9	-32,8	-36,6	-36,7	-35,6	-34,4	-46,8	-48,3	-48,2	-49,9	-44,7	-49,1	-48,1	-53,6	-55,2	-55	-56,8	-52,5	-55,9	-55
PUE _{explotación} (%)	9,3	16,3	16,8	17,6	-8,8	16,1	-8,7	4,9	9,5	9	7,1	-0,8	8,8	7,1	5,3	11	10,8	10,2	0,7	10,5	8,8	7,7	13,3	13	12,4	3,3	12,6	10,9
PUE _{dieta} (%)	-4,7	-1,7	-4,7	-4,1	-3,1	-3,5	-0,1	-0,5	7,9	-3,4	-0,2	3,4	1,8	5,5	0,2	10,2	-0,9	0,5	4,3	2,8	7,2	1,2	12,5	-0,2	1,7	6,3	4,2	9,1
Off-farm (m ² /kg leite)	-27,5	-27,5	-7,7	-27,5	-27,5	-26,4	-27,5	6,6	-1,1	11	26,4	4,4	4,4	62,6	-17,6	-23,1	-14,3	-5,5	-7,7	-18,7	-19,8	-19,8	-27,5	-14,3	-20,9	-17,6	-22	-22
NUE _{explotación} (%)	-3,1	-3	-10	-3,3	-3,3	-3,5	-3,3	3,6	10,1	2,6	-3	10	8	8,3	1,8	8,7	0,6	6,8	8,5	6,2	6,8	1,5	9	2,9	6,8	8,9	6,2	7
NUE _{dieta} (%)	0,3	-9,2	0,5	0,2	-1	-1,1	-2,3	4,6	1,4	2,7	3,6	2,2	3,6	2,8	3,6	-3,7	3	2,5	5,7	2,4	1,4	6,3	-1,7	5,8	5,4	3,2	5,2	3,8
HNt (g/kg leite)	7,7	7,8	23,9	7,7	7,8	8,3	7,8	-2	-8,5	2,3	15,2	-5,8	-4,2	-4,7	-2,9	-0,3	1,6	-5,2	-8,4	-5,8	-6,7	-6,6	-15,7	-6,5	-9,2	-12,6	-8,7	-11
HNt (g/kg forraje)	-28,6	-33,2	-23,9	-39,1	0,3	-32,6	0,3	-21,3	-21,8	-20,6	-23	-22,9	-22,3	-20,8	-33,2	-25,2	-33,7	-34,1	-27,6	-33,7	-32,4	-40,6	-40,8	-41	-42,6	-36,7	-40,3	-39,8
HNr (g/kg leite)	5,9	8,4	8,9	7,2	7,6	7,2	7,6	18,1	16,5	26,2	51,5	24,5	23,6	23,2	25,3	-22,8	37,6	35,4	33,3	32,1	31,2	20,3	17,3	27	31,6	27,8	27,8	26,6
HNr (g/kg forraje)	-29,6	-32,7	-33,1	-39,4	0,2	-33,3	0,2	-5,2	-0,4	-2,1	1,3	1,9	0,4	25	-13,8	-7,8	-10,1	-5,7	5,4	-7,1	-5	-23,5	-17,6	-19,9	-16,8	-5,9	-16,4	14,3
N ₂ O (g/kg leite)	5,2	18,1	12,1	17,2	17,2	25,9	2,4	1,7	-6	3,4	-1,7	-4,3	-2,6	-2,6	7,8	-2,6	6	2,6	-8,6	2,6	0,9	6,9	-5,2	5,2	1,7	-1,7	0,9	0
Leite vaca (kg/d)	-0,7	5,3	-1,9	-0,8	2,1	0,2	0,8	-1,8	4,3	-3	-2,8	-0,1	-1,3	-0,5	-10,6	-3,3	-11,8	-11,2	-8,2	-9,9	-9	-10,5	-2,3	-12,1	-11,4	-8	-10	-8,8
Leite (t/ano)	-0,7	5,3	-1,9	-0,8	2,1	0,2	0,8	15,3	32,3	21,8	33,7	37,5	31,2	-0,5	-1	16,2	4,7	16,9	20,7	13,6	-6,6	-8,7	8,9	-3,2	8,2	12,4	5,8	7,1
iLUC (kg CO ₂ /kg leite)	-46,3	-46,3	-70,1	-46,3	-46,3	-45,8	-46,3	-21,5	-27,7	-18,6	-7,3	-24,3	-33,2	-23,7	-29,4	-36,2	-24,9	-30,5	-32,2	-31,1	-31,6	-36,2	-42,9	-35	-36,2	-39,5	-37,9	-39
iLUC (kg CO ₂ /kg forraje)	-69,3	-71,3	-84,3	-74	-57	-71,1	-57	-45,7	-46,6	-45,7	-46,6	-46,6	-46,4	-45,3	-57,8	-58,5	-57,6	-58,3	-53,9	-58,3	-57,4	-64,9	-65,3	-64,7	-65,1	-61,6	-65,1	-64,5
FNDf (kg/100 kg PV)	-12,7	-14,7	-8,2	-5,7	-6,4	-7,2	-4,8	-11,1	-13,2	-6,3	-3,7	-3,7	-5,2	-3,4	-1,5	-3,7	4	6,1	4,2	5,2	7,5	9,6	6,7	14,4	18,4	16,2	17,4	19,9
MS consumida (kg/vaca día)	0,9	0,9	0,9	0,5	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5	0,7	0,9	0,9	0,9	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Vacas de leite (n.º)	0	0	0	0	0	0	0	17,4	26,8	25,5	37,6	37,6	32,9	0	10,7	20,1	18,8	31,5	31,5	26,2	2,7	2	11,4	10,1	22,1	22,1	17,4	17,4
CO _{2e} (kg/kg leite)	1,4	3,7	4,5	1,3	3,5	2,4	0,8	2,8	-3,9	7,4	-2	-0,7	-1,6	0,2	8,2	-0,6	7,6	3,3	-4,7	2,4	4,5	8,8	-1,6	8	3	3,2	2	4,8
CO _{2e} (kg/kg forraje)	-23	-29,1	-34,2	-34,2	7,7	-26,1	7,6	-15,5	-27,5	-20	-23,7	-23,4	-21,7	-19,7	-17,4	-23,6	-22	-25,2	-17,3	-23,5	-21,6	-20	-26,1	-30,4	-27,5	-19,9	-25,8	-24
CO ₂ (g/kg leite)	0,4	0,3	5	1,7	0,5	1,5	0,3	0	-7,9	2,9	-6,7	-4,6	-2,9	-3,3	0,4	-9,2	-0,4	-2,9	-12,1	-3,3	-3,8	-1,3	-12,1	-2,5	-5,4	-8,4	-5,9	-6,3
CH ₄ (kg/kg leite)	1	1,4	1,9	-3,4	1,2	-3,6	0,7	4,8	-1	11,1	0,7	2,7	-0,5	3,1	12,8	4,6	12,8	7,2	0,7	5,8	10,4	15,2	5,6	15	8,2	11,4	7	12,6

Os escenarios ESC1-ESC7: sucesión de millo con: ESC1: raigrás italiano; ESC2: trevo *incarnatum*, ESC3: raigrás italiano + trevo *incarnatum*; ESC4: aveia; ESC5: aveia + veza; ESC6: triticales; ESC7: triticales + fabas; SCE8-SCE14: mesmas sucesións que ESC1-ESC7, con igual número de vacas e igual consumo de penso á base ou orixe; ESC15-ESC21: igual que ESC8-ESC14, cunha redución 15 % de concentrado; ESC22-ESC28: igual que SCE8-SCE14, cunha redución do 30 % de concentrado



ROCK RIVER LABORATORY SPAIN

MARIA HERMIDA

**REALIZAMOS TODAS LAS ANALÍTICAS IMPRESCINDIBLES
PARA TU GANADERÍA**

Análisis NIR de ensilados y forrajes

Análisis microbiológicos de ensilados, forrajes, etc...

Procesado del grano en ensilado de maíz (KPS)

Análisis de micotoxinas (LC MS/ MS)

Análisis de aguas

Análisis de tierras

Análisis de purín



**Disponemos de servicio
de recogida de muestras**



**Llámanos y te informamos
sin compromiso**

Pol. Ind. Lalín 2000, Parcela A 8 - LALÍN Pontevedra

T.986 597 195 / M. 629 901 290

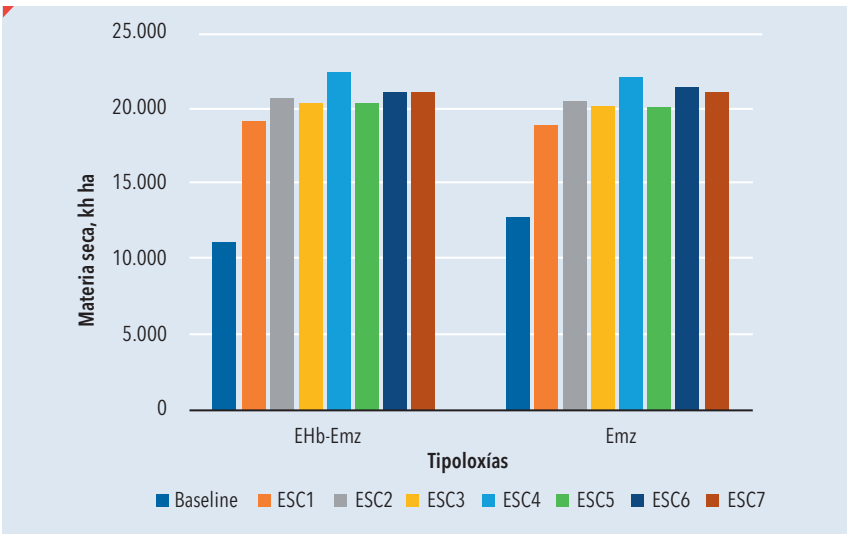
www.rockriverlab-spain.com - maria@rockriverlab-spain.com

ambas as tipoloxías (escenarios ESC9-ESC16-ESC23) rexistraron o contido máis baixo de FDN f (301 g kg MS, táboa 3).

3.1.2. Rendemento leiteiro

Estimouse o impacto na produción de leite, como resultado dos cambios na dieta do rabaño en cada escenario. A sucesión de millo con trevo *incarnatum* (escenarios ESC9-ESC16-ESC23) darían a maior produción de leite (figuras 4 e 5). O resto das sucesións diminuírían a produción de leite nunha media do 7,9 % e 6,3 % para a tipoloxía EHb-EMz e EMz. Con todo, a maior produción de forraxe podería permitir o aumento do número de vacas leiteiras, que se estimou para cada escenario coma o número máximo de animais que poderían alimentarse utilizando a forraxe producida na explotación, calculado a partir da ecuación 2. O número de vacas leiteiras podería incrementarse nun 15,9 % e un 20,1 % de media para as tipoloxías EHb-EMz e EMz, respectivamente (figuras 4 e 5). Do mesmo xeito, a produción de leite expresado en toneladas ao ano podería aumentar un 8,1 % e un 18,6 % de

Figura 3. Forraxe en kg MS por hectárea producido en A) tipoloxía EHb-EMz e B) tipoloxía EMz



media para as tipoloxías EHb-EMz e EMz. O rendemento máximo da tipoloxía EHb-EMz obtívose nos escenarios de millo con trevo *incarnatum* (escenarios ESC9-ESC16-ESC23), seguidos dos escenarios de millo con avea (escenarios ESC11-ESC18-ESC25) e independentemente da cantidade de

concentrado presente na dieta das vacas leiteiras. Para a tipoloxía EMz a máxima produción pódese obter nos escenarios que implican millo en sucesión de sucesión avea-veza ESC11-ESC18-ESC25) e os escenarios de millo con trevo *incarnatum* (escenarios SCE9-SCE16-SCE23) (figura 5).

Táboa 4. Consumo de alimentos en quilos de materia seca cabeza e día

Animais	Alimento, kg MS cabeza e día	Tipoloxía base		Simulación EHb-EMz			Simulación EMz		
		EHbA-EMz	EMz	CFI/Mz _{+conc. base}	<15 % Concentrado	<30 % Concentrado	CFI/Mz _{+conc. base}	<15 % Concentrado	<30 % Concentrado
Vacas leiteiras	Ensilado millo	5,9	8,6	6,4	7,1	7,9	9,4	10,1	10,9
	Ensilado herba	4,8	3,5	-	-	-	-	-	-
	Ensilado cultivos forraxeiros de inverno	-	-	5,3	6,1	6,8	4,3	5,0	5,9
	Herba seca	1,01	-	-	-	-	-	-	-
	Palla cereais	-	1,3	-	-	-	-	-	-
	Concentrado	10,1	10,5	10,1	8,6	7,1	10,5	8,3	7,3
Vacas secas	Ensilado millo	1,4	1,4	3,0	3,0	3,0	4,3	4,3	4,3
	Ensilado herba	5,4	4,5	-	-	-	-	-	-
	Ensilado cultivos forraxeiros de inverno	-	-	7,0	7,0	7,0	7,4	7,4	7,4
	Herba seca	3,2	-	-	-	-	-	-	-
	Palla avea	-	1,3	-	-	-	-	-	-
	Concentrado	2,5	1,9	2,5	2,5	2,5	1,9	1,9	1,9
Xovencas > 1 ano	Ensilado millo	1,4	0,3	2,6	2,6	2,6	2,3	2,3	2,3
	Ensilado herba	3,1	4,5	-	-	-	-	-	-
	Ensilado cultivos forraxeiros de inverno	-	-	4,3	4,3	4,3	6,5	6,5	6,5
	Herba seca	2,4	2,2	-	-	-	-	-	-
	Palla avea	-	1,7	-	-	-	-	-	-
	Concentrado	2,5	2,9	2,5	2,5	2,5	2,9	2,9	2,9
Xovencas < 1 ano	Ensilado millo	0,5	0,3	2	2	2	2,0	2,0	2,0
	Ensilado herba	1,4	0,9	-	-	-	-	-	-
	Ensilado cultivos forraxeiros de inverno	-	-	2,8	2,8	2,8	2,0	2,0	2,0
	Herba seca	2,8	2,0	-	-	-	-	-	-
	Palla avea	-	1,3	-	-	-	-	-	-
	Concentrado	1,8	2,3	1,8	1,8	1,8	2,3	2,3	2,3

EHbA-EMz: tipoloxía ensilado de herba-ensilado millo; EMz: tipoloxía ensilado de millo; CFI/Mz_{+conc. base}: Cultivos forraxeiros inverno/Mz_{+concentrado base}

3.2. Impactos medioambientais

3.2.1. Excedente de N-P; eficiencia de utilización de N-P; pegadas de N

O excedente de N e P expresado en gramos por quilogramo de leite e gramos por quilogramo de materia seca de forraxe diminuirían linealmente ($P<0,001$) en todos os escenarios ao reducir o concentrado respecto da situación de partida das tipoloxías. En concreto, o excedente de N, en g kg de leite diminuiría unha media do 34,6 % e do 25,5 % para a tipoloxía EHb-EMz e EMz respectivamente, con respecto á situación de partida de cada tipoloxía. Cando se expresa en g kg de materia seca de forraxe, o excedente de N diminuiría unha media do 53,3 % e do 45,8 % para a tipoloxía EHb-EMz e EMz, respectivamente, con respecto á situación de partida de cada tipoloxía.

En todos os casos, a maior redución do excedente de N atopouse nos escenarios integrados por millo e avea (escenarios ESC11-ESC18-ESC25), seguidos dos escenarios integrados por millo e trevo *incarnatum* (escenarios ESC9-ESC16-ESC3, figuras 4 e 5).

O excedente de P diminuiría unha media do 93,4 % e 44,9 % cando se expresa en g kg de leite e do 93,7 % ao 59,8 % en g por quilo de materia seca para a tipoloxía EHb-EMz e EMz, respectivamente. A maior redución do excedente de P atopouse nos escenarios que implican millo con avea (escenarios ESC11-ESC18-ESC25), seguido dos escenarios de millo con avea e veza (escenarios ESC12-ESC19-ESC26, figuras 4 e 5).

A NUE_{dieta} no leite diminuíu unha media do 1,1 % para a tipoloxía EHb-EMz e aumentou unha media do 2,9 % na tipoloxía EMz, con diferenzas estatisticamente significa-



tivas entre tipoloxías e escenarios ($P<0,001$) (figuras 4 e 5).

A $NUE_{explotación}$ aumentaría unha media do $2,2\pm0,4$ % e $3,8\pm1,0$ % para a tipoloxía EHb-EMz e EMz, respectivamente, con diferenzas estatisticamente significativas entre tipoloxías e escenarios ($P<0,001$) (figuras 4 e 5). A mesma tendencia dos indicadores NUE observouse para os indicadores PUE. A PUE_{dieta} unha media do 3,4 % para a tipoloxía EHb-EMz e aumentaría do 3,1 % para a tipoloxía EMz con diferenzas estatisticamente significativas entre tipoloxías ($P<0,01$) pero non entre escenarios ($P<0,05$) e sen efecto lineal ou cuadrático (figuras 4 e 5).

A $PUE_{explotación}$ aumentaría unha media do $15,5\pm0,8$ % e do $8,9\pm1,2$ % respectivamente, con diferenzas estatisticamente significativas entre tipoloxías e escenarios ($P<0,001$) (figuras 4 e 5).

As pegadas de N total (HNt) e reactivo (HNr) da base e en escenarios de cada tipoloxía foron estimadas polo modelo DairyCant tendo en conta a compra de pensos, a reposición

de animais, o uso de fertilizantes minerais, a fixación biolóxica e a deposición atmosférica. A HNt estimouse como a suma do N na explotación, mentres que HNr representa a suma da fixación biolóxica, a deposición atmosférica e a suma de NH_3 , N_2O , NO_2 e o NO_3 (Sutton *et al.*, 2011). HNt reduciríase entre os escenarios e HNr aumentaría (figuras 4 e 5), cando as pegadas son expresadas en gramos por quilogramo de leite producido. Cando a HNt e a HNr se expresan en gramos por quilogramo de materia seca forraxeira producida, ambas as pegadas diminúan linealmente ($P<0,001$) a medida que o concentrado se reduce nos escenarios, con diferenzas estatisticamente significativas ($P<0,05$) con respecto á situación de partida das tipoloxías. Factores coma a cantidade de fertilizante químico nos cultivos forraxeiros de inverno e a menor achega de concentrado poderían explicar a redución de ambas as pegadas de N. Por exemplo, os escenarios formados por millo e trevo *incarnatum* en ambas as tipoloxías (escenarios ►

RAYADO Y PICADO de pasillos de establos

Marcos Villamide:
626 096 129



Marcos Villamide Construcciones S.L.U | Álvare, s/n 27248 A Pastoriza (Lugo)

SCE9-SCE16-SCE23), que se considera que non recibe fertilización química, mostraron as pegadas de N máis baixas (figuras 4 e 5).

3.2.2. Emisións de gases invernadoiro e captura de carbono

As emisións de dióxido de carbono (CO_2) das tipoloxías EHB-EMz e EMz na situación de referencia, expresadas en quilogramos de CO_2 por quilogramo de leite producido, serían de 0,261 e 0,239, respectivamente, diminuíndo nun 7,6 % e un 4,6 %, respectivamente, a medida que se reducise a inxestión de concentrado (táboas S5 e S6, material suplementario). As emisións de N_2O das tipoloxías EHB-EMz e EMz (liñas de base), expresadas en g por quilo de leite, serían de 0,138 e 0,116 g, respectivamente, diminuíndo no caso de EHB-EMz nunha media de 8,8 % a medida que se reduce a inxestión de concentrado. O maior descenso de CO_2 e N_2O observouse nos escenarios que implicaban millo con trevo *incarnatum* en ambas as tipoloxías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23, figuras 4 e 5).

Así mesmo, as emisións de metano (CH_4), expresadas en quilogramos por quilogramo de leite producido, aumentarían linealmente una media do 5,9 % e do 7,1 % na tipoloxía EHB-EMz e EMz, respectivamente, ao substituír o concentrado por forraxe. O maior incremento porcentual medio de CH_4 observouse nos escenarios de millo e raigrás italiano máis trevo *incarnatum* (escenarios SCE10-SCE17-SCE24) e o máis baixo nos escenarios de millo con trevo *incarnatum* en ambas as tipoloxías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23, figuras 4 e 5).

O secuestro de carbono (SOC) sería de 13,6 e 31,4 g por quilo de leite producido na situación de referencia para as tipoloxías EHB-EMz e EMz respectivamente, aumentando linealmente entre escenarios ($P < 0,05$) cando se substituíu o concentrado por forraxe. Os escenarios coa maior porcentaxe de incremento de SOC foron o millo con avea (escenarios ESC11-ESC18-ESC25, figuras 4 e 5), en ambas as tipoloxías.

Nas simulacións aquí presentadas, os cambios en SOC estiveron dominados por cambios no consumo de carbono, ben directamente a través da redución de concentrado ou in-



A base territorial de moitas explotacións do norte de España é limitada e a superficie ocupada de fóra da explotación por vaca e ano nelas é de 1,14 e 1,28 hectáreas, respectivamente

directamente a través da redución de fertilizantes. As fontes de C consideradas e incorporadas ao chan foron os restos vexetais e os xurros. O contido de materia seca dos xurros foi asumido de 106 g/kg, cunha relación C/N de 11,9 (Salcedo, 2011). Ademais, admitiuse que o 10 % do C achegado pode ser secuestrado nun horizonte de 100 anos (Petersen *et al.*, 2013). Os restos vexetais estimáronse como kg materia seca de biomasa $\times 45 \% \text{ C} \times 10 \%$, onde 45 é a porcentaxe de C contido na materia seca incorporada (IPCC, 2006).

En conxunto, as emisións dun litro de leite aumentarían unha media de 0,36 % e 2,9 % nas tipoloxías EHB-EMz e EMz, respectivamente, con diferenzas estatisticamente significativas entre tipoloxías e escenarios ($P < 0,001$). As menores emisións observáronse nos escenarios de millo e trevo *incarnatum* en ambas as tipoloxías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23), mentres que as máis elevadas se observaron nos escenarios de millo con raigrás italiano máis trevo *incarnatum* (escenarios SCE10-SCE17-SCE24, figuras 4 e 5).

Doutra banda, as emisións dun quilo de materia seca de forraxe diminuírían nunha media de 26,7 e 22,7 nas tipoloxías EHB-EMz e EMz, respectivamente, con diferenzas estatisticamente significativas entre tipoloxías e escenarios ($P < 0,001$). De novo, as emisións máis baixas observáronse nos escenarios a base millo e trevo *incarnatum* en ambas as tipoloxías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23, figuras 4 e 5). Para estes escenarios considerouse unha menor aplicación de fertilizante nitroxenado, o que podería explicar parte da redución da pegada de carbono.

3.2.3. Superficie ocupada por pensos fóra da explotación

A base territorial de moitas explotacións do norte de España é limitada e a superficie ocupada de fóra da explotación por vaca leiteira e ano nestas explotacións é de 1,14 e 1,28 hectáreas, respectivamente, equivalente a 0,84 e 0,77 ha por unidade de gando maior (UGM), para as tipoloxías EMz e EHB-EMz respectivamente. Isto representa o 49,8 % do total da materia seca inxerida (Salcedo e Salcedo-Rodríguez, 2022).

Neste estudo, a superficie de fóra da explotación foi estimada por DairyCant en 1,24 e 0,91 $\text{m}^2 \text{ kg}$ de leite producido para a liña base da tipoloxía EHB-EMz e EMz, respectivamente, diminuíndo de xeito lineal a medida que se reduce o consumo de concentrado, nunha media de 24,4 % e 6,5 % nas tipoloxías EHB-EMz e EMz, respectivamente ($P < 0,001$) (figuras 4 e 5).

O CO_2 atribuído ao cambio indirecto do uso da terra (iLUC) estimouse en 17,7 g kg de leite e 47,3 g kg de materia seca de forraxe producida na situación de referencia para ambas as tipoloxías, diminuíndo linealmente a medida que se reducía o concentrado (figuras 4 e 5).

AGRADECEMENTOS

Este traballo foi financiado polo proxecto de investigación RTA2015-00058-C06 do Ministerio de Economía e Competitividade de España. Os autores agradecen a colaboración dos gandeiros implicados neste traballo. ■

NOTA DOS AUTORES

Os datos complementarios deste artigo poden consultarse en liña en *Agricultural Systems* 222 (2025) 104184 <https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.104184>



MÁSTER PROPIO EN PRODUCCIÓN DE LECHE

X edición - 2025

www.masterleche.es



OBJETIVO DEL CURSO

Formación de profesionales especializados con un enfoque práctico y aplicado, que permita cubrir la demanda de expertos en servicios técnicos y de asesoría que demanda el sector de la producción lechera en general y las explotaciones lecheras en particular.

REQUISITOS DE ACCESO

Graduados, máster, diplomados, licenciados e ingenieros técnicos y superiores. Podrán ser admitidos alumnos a los que les falte superar el TFG y, como máximo, 9 créditos ECTS para obtener la titulación de acceso requerida.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

- Expediente académico (hasta 5 puntos).
- Experiencia profesional (hasta 3 puntos).
- Orden de inscripción (hasta 2 puntos).

Nº de plazas limitadas: 12

PROGRAMA (60 Créditos ECTS)

El desarrollo del curso es fundamentalmente práctico y consta de los siguientes módulos:

- 1 - Morfología, fisiología y manejo sanitario de la vaca de leche
- 2 - Calidad del producto
- 3 - Instalaciones ganaderas
- 4 - Producción de forrajes
- 5 - Alimentación en la producción de leche
- 6 - Economía y gestión de la producción de leche
- 7 - Prácticas de campo

El 20% de las clases en los módulos 1-6 podrán ser seguidas online

Prácticas en empresa
Trabajo fin de máster

LUGAR DE CELEBRACIÓN DE LAS CLASES PRESENCIALES :

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Facultad de Veterinaria
Campus Universitario de Lugo

Granja Experimental de Leche de la Diputación de Lugo
Castro de Ribeiras de Lea (Lugo)

Laboratorio Interprofesional Gallego de Análisis de Leche (LIGAL)
Mabegondo (Abegondo - A Coruña)



Plazo de preinscripción abierto del 1 al 30 de junio

PATROCINADORES