



Intensificación sostenible de explotaciones lecheras en clima atlántico templado. Efectos sobre aspectos productivos, nutricionales y medioambientales (I)

Las páginas que vienen a continuación recogen la primera parte de nuestro trabajo de investigación, llevado a cabo con el fin de explorar la influencia de las sucesiones de cultivos en varios indicadores medioambientales en consonancia con los objetivos de la Política Agrícola Común (PAC) de reducir las emisiones de N_2O y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Gregorio Salcedo¹, Daniel Salcedo-Rodríguez², Athanasia Varsaki³

¹CIFP La Granja, 39892 Heras, Cantabria, España

²INDRA, Departamento Sistemas de Información, Madrid, España

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

INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura es una respuesta a la creciente demanda de alimentos para satisfacer la demanda a una población mundial en aumento. Por lo general, este planteamiento implica potenciar la utilización de los recursos y aumentar la producción agrícola por unidad de tierra. Sin embargo, aunque la intensificación pretende aumentar la productividad, también puede tener efectos complejos y, a veces, contradictorios sobre los pilares de la sostenibilidad: el

medioambiente, el económico y el social (Pretty, 2018; Pretty *et al.*, 2018; Rasmussen *et al.*, 2018). Por ejemplo, la intensificación puede mejorar los beneficios económicos y aumentar la producción de alimentos (beneficios económicos y sociales), pero también podría conducir a la degradación medioambiental si no se gestiona de forma sostenible (impacto medioambiental). Por otro lado, los debates en torno a la sostenibilidad agrícola, la dimensión medioambiental (baja huella medioambiental) o la dimensión económica (alto beneficio

económico), mientras que el componente social (seguridad alimentaria, bienestar animal, bienestar humano...) suele pasarse por alto (Struik y Kuyper, 2017).

Por lo tanto, es esencial que la intensificación agrícola deba equilibrarse cuidadosamente con los principios de sostenibilidad y aumentar la productividad minimizando los daños medioambientales y maximizando los beneficios sociales.

Para entender aquellas complejidades, es importante reconocer

► ES ESENCIAL QUE LA INTENSIFICACIÓN AGRÍCOLA DEBA EQUILBRARSE CUIDADOSAMENTE CON LOS PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD Y AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD MINIMIZANDO LOS DAÑOS MEDIOAMBIENTALES Y MAXIMIZANDO LOS BENEFICIOS SOCIALES

que tanto “sostenibilidad” como “intensificación” son conceptos equívocos. No es sorprendente, por tanto, que la combinación del sustantivo “intensificación” con el adjetivo “sostenible” pueda resultar aún más desconcertante. No obstante, la idea de “intensificación sostenible” ya se ha definido como la mejora de la eficiencia de los insumos externos y la optimización de la combinación de prácticas y tecnologías dentro del sistema de producción de cultivos (Xie *et al.*, 2019). Cuando se aplica

a la producción ganadera, la intensificación sostenible puede lograrse reduciendo los impactos ambientales mediante la mejora de la conversión de alimento en leche (Bava *et al.*, 2014), o aumentando la producción de forraje por unidad de superficie (Gislon *et al.*, 2020), basándose en la reducción de los costes (pilar medioambiental), el aumento de la eficiencia de la producción (pilar económico) y el mantenimiento de un bienestar animal y humano (pilar social) (Balaine *et al.*, 2020).

Un aspecto significativo en el que la intensificación sostenible es particularmente relevante ocurre en la ganadería lechera, ya que se considera que genera importantes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La huella de carbono (HC) se ha introducido como métrica para rastrear y gestionar estas emisiones, normalmente expresadas en kg de CO₂ equivalente (Persson *et al.*, 2015).

Para evaluar la sostenibilidad y orientar los esfuerzos del desarrollo sostenible, se tienen en cuenta otras claves medioambientales, como el concepto relativamente nuevo de la huella de nitrógeno (HN) (Cucek *et al.*, 2015). La HN incluye la huella de nitrógeno total (HN_T) y la huella de nitrógeno reactivo (HN_R). La primera es la suma de todas las entradas de nitrógeno a la explotación (piensos comprados, fertilizantes, fijación biológica, deposición atmosférica...); la segunda es la suma de amoníaco (NH₃), nitrógeno (N₂), óxido nitroso (N₂O), óxido nítrico (NO) y nitrato (NO₃), (Sutton *et al.*, 2011). ►►



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

✉ morea@morea.es

☎ 606 197 288

📞 983 210 813

🌐 morea.es



A diferencia de la huella de carbono, la huella de nitrógeno no solo se centra en los gases de efecto invernadero, sino que rastrea el nitrógeno reactivo (N_r) y sirve como herramienta para cuantificar el impacto de las actividades humanas en la contaminación por nitrógeno. Esto incluye la lixiviación por nitratos, un importante problema medioambiental que afecta a la calidad del agua en muchas zonas del mundo (Cameron *et al.*, 2013). En la ganadería lechera, la gestión eficiente del nitrógeno (N) es crucial. El N principalmente importado a las explotaciones lecheras a través de los piensos y los fertilizantes (Reinsch *et al.*, 2021; Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022). Los dos indicadores de N utilizados para caracterizar el rendimiento de las explotaciones son la eficiencia en el uso del N (NUE) y el excedente de N (Quemada *et al.*, 2020). La NUE compara las prácticas de gestión del N e indica el riesgo de pérdidas de este en el medio ambiente (Powell *et al.*, 2010). Se expresa como la relación porcentual entre la producción de N respecto a las entradas, representando así el porcentaje de absorción de N. Por el contrario, el excedente de N se define como la diferencia entre la entradas y salidas de N. Indica la cantidad de nitrógeno que se absorbe y por diferencia la cantidad de nitrógeno que se pierde en el medio ambiente en lugar de ser utilizado eficazmente dentro del sistema (de Klein *et al.*, 2017). La NUE es también un indicador de eficiencia, ya que evalúa la proporción del N importado anualmente a la explotación que se asimila e incorpora efectivamente en la biomasa vegetal o en la producción de leche. Existen diferentes escalas a las que puede medirse la NUE, cada una de las cuales proporciona perspectivas únicas. A escala de explotación ($NUE_{\text{explotación}}$) mide la eficiencia del uso del nitrógeno en toda la explotación. Tiene en cuenta todas las entradas de nitrógeno, como los fertilizantes y los piensos, y las salidas de nitrógeno como el rendimiento de los cultivos y la producción de leche (Quemada *et al.*, 2020).

Esta perspectiva ayuda a identificar áreas en las que puede mejorarse la gestión del nitrógeno para reducir las pérdidas.



► PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD Y ORIENTAR LOS ESFUERZOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE, SE TIENEN EN CUENTA OTRAS CLAVES MEDIOAMBIENTALES, COMO EL CONCEPTO RELATIVAMENTE NUEVO DE LA HUELLA DE NITRÓGENO (HN)

La situación en el norte de España ilustra estos principios en la práctica, ya que las explotaciones lecheras de esta región no son una excepción a la tendencia de la intensificación, que ha ido unida al desarrollo del ensilado de maíz, a los forrajes fertilizados de forma intensiva, y a un aumento tanto de las cargas ganaderas como de la suplementación con concentrado de las vacas lecheras.

Existen **cinco tipologías distintas de producción lechera** en la costa atlántica de España (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022), definidas por el tipo de alimentación del rebaño:

- i) **Sistemas lecheros ecológicos (ECO)**, con dietas basadas en el pastoreo y el 100 % de la base territorial dedicada a praderas
- ii) **Sistemas lecheros convencionales con pastos (C-P)**, similares a los ECO en cuanto a términos de tipo de dieta y uso territorial
- iii) **Sistemas lecheros de ensilado de hierba (Ehb)** con dietas basadas en ensilado de hierba, dedicando el 71,4 % de la base territorial al ensilado de hierba y solo el 28,5 % al pastoreo
- iv) **Sistemas lecheros intensivos con dietas a base de ensilado de maíz (EMz)**, con maíz como principal cultivo de la explotación y las vacas alojadas en el interior durante todo el año
- v) **Sistemas lecheros intensivos con dietas a base de ensilado de hierba y maíz (Ehb-EMz)**, con las vacas estabuladas al igual que en los sistemas EMz

Debido a las tendencias de intensificación, el número de las explotaciones

lecheras extensivas (ECO y C-P) están disminuyendo, mientras las intensivas están aumentando. La sucesión de maíz y raigrás italiano representa el $56,1 \pm 26$ % de la superficie total de las explotaciones lecheras del norte de España. Mientras tanto, las compras de piensos suponen el $50,1 \pm 10,8$ % de la dieta, correspondiendo el $84,6 \pm 9,5$ % a concentrados (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022).

La compra de piensos es elevada, lo que indica la necesidad de minimizar los insumos externos para aumentar los beneficios. La intensificación forrajera y la optimización de la producción de forraje podrían ser estrategias interesantes de cara a la sostenibilidad económica y medioambiental (Gislon *et al.*, 2020), con el objetivo de aumentar la producción de leche por vaca mediante la optimización de la producción y la minimización de los insumos externos del sistema ganadero (Xie *et al.*, 2019).

Para profundizar en ello, en este trabajo se simula el efecto productivo, nutricional y ambiental tras la intensificación sostenible del forraje en las dos tipologías de sistemas lácteos intensivos descritas para la costa norte atlántica de España, utilizando el modelo DairyCant (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022). Numerosas explotaciones de la zona realizan una sucesión de cultivos de ►

GALICAL

CALES Y CARBONATOS AGRÍCOLAS

CARBONATO CÁLCICO

- Camas higiénicas
- Eficaz en la **reducción de mamitis ambientales y dermatitis**

HIDRÓXIDO CÁLCICO

- Secante de **alta absorción**

MEZCLA CON SERRÍN Y CASCARILLA

- Comodidad e **higiene**

UN DESCANSIÑO
CAMAS DE VACUNO

Transporte a cualquier punto de España y Portugal

AHORA CON
DESINFECTANTE



GALICAL CALES Y CARBONATOS AGRÍCOLAS SL

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

☎ 982 221 484

✉ info@galical.es



www.galical.es

maíz con raigrás italiano, principalmente las situadas en zonas bajas con fácil acceso a la mecanización. En este estudio se analizó el resultado de la incorporación de leguminosas en las sucesiones de maíz y cultivos forrajeros de invierno (CFI), reduciendo al mismo tiempo el consumo de concentrado.

Este enfoque pretende determinar la eficacia de la intensificación forrajera para minimizar la dependencia de las importaciones de piensos y como estrategia para reducir las pérdidas de nitrógeno y las emisiones de gases de efecto invernadero. Hasta donde sabemos este es el primer estudio sobre la intensificación forrajera sostenible de explotaciones lecheras en el norte de España.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Explotaciones y localización de los casos de estudio

Las explotaciones de vacuno de leche aquí analizadas están situadas en la costa atlántica norte de España y abarcan dos tipos de sistemas intensivos de la zona: i) sistemas intensivos de vacuno de leche que aplican una dieta basada en ensilado de maíz (EMz, n = 11), siendo este el principal cultivo de la explotación y ii) sistemas lecheros intensivos que aplican una dieta basada en ensilado de hierba y ensilado de maíz (EHb-EMz, n = 12). La clasificación se basa en los datos obtenidos en los estudios de campo descritos anteriormente (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022). Brevemente, en la fase inicial del estudio, los agricultores fueron entrevistados *in situ* sobre una serie de preguntas relacionadas con los siguientes temas: i) la ubicación de la explotación, ii) la base territorial y la producción forrajera, iii) la fertilización, iv) la composición y gestión del rebaño, v) alimentación de los animales, vi) producción de leche y su composición química, vii) consumo de energía y viii) información complementaria como el análisis químico de los piensos, los purines y del suelo.

La segunda parte del estudio consistió en la tipificación de los sistemas de alimentación de las explotaciones de la cornisa cantábrica mediante técnicas de análisis multivariante (análisis de componentes principales, ACP) (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022).

Se analizaron los datos de las encuestas de un total de 54 explotaciones,



Tabla 1. Características técnico-productivas de las explotaciones usadas para modelar

Características	EMz	EHb-EMz
Vacas lecheras en producción	149	111
Dieta del rebaño		
Hierba verde, %	0,64	1,4
Ensilado de hierba, %	17,1	20,7
Ensilado de maíz, %	33,1	25,8
Heno, %	5,0	3,7
Concentrados, %	44,0	48,2
Soja, kg día	0,92	1,13
Superficie		
Hierba, %	13,6	9,3
Ensilado hierba, %	59,1	57,3
Maíz, %	65,2	47,8
CFI, %	71,8	57,9
Maíz-Raigrás, has	27,2	21,8
Hierba, t MS ha ⁻¹	1,8	2,0
Otros forrajes, t MS ha ⁻¹	8,6	6,9
Compra concentrados, t ha ⁻¹	10,7	11,7
Compra forrajes, 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
Producción de leche corregida por grasa y proteína (t año ⁻¹)	1764	1260

CFI: cultivos forrajeros de invierno

con 23 granjas seleccionadas como las más intensivas: 11 seleccionadas como las de maíz ensilado (EMz, n = 11) y 12 seleccionadas como las de hierba ensilada-maíz (EHb-EMz, n = 12).

2.2. Modelo de simulación y escenarios

Las explotaciones se simularon utilizando el modelo DairyCant (Salcedo, 2020; Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022). Cada tipología se representó en el DairyCant como una explotación modelo media con las principales características descritas anteriormente (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022) y brevemente en la tabla 1.

Se mantuvieron las mismas características para los escenarios, cambiando únicamente la superficie de cultivo de maíz en sucesión con CFI

y la dieta del rebaño en función del forraje producido en la explotación. Los escenarios (ESC) de maíz en sucesión con CFI consistió en reemplazar la superficie de praderas por prateses de invierno (raigrás italiano y trébol en siembra pura o trébol) y cereales de invierno asociados o no a leguminosas (siete escenarios, ESC1-ESC7). En cada escenario, el número de vacas lecheras fue modificado según la producción forrajera de cada sucesión y la cantidad de animales que podían alimentarse en la explotación, dando siete (7) escenarios más (ESC8-ESC14). Cuando se sustituye parcialmente el concentrado por forraje, se utilizaron las mismas sucesiones, dando 14 escenarios más: reducir concentrado un 15 % las sucesiones anteriores (ESC15-ESC21) ▶▶



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.

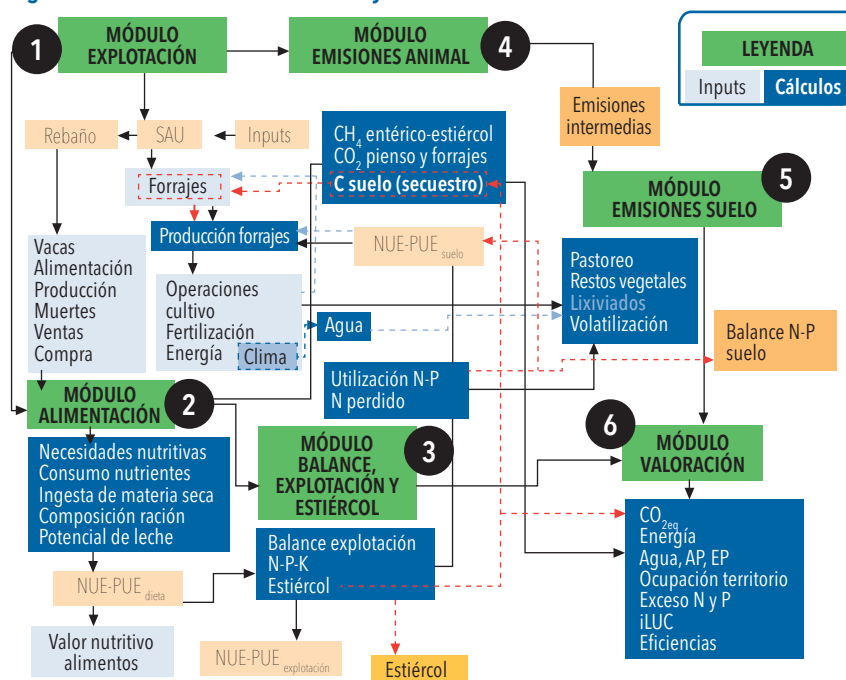
Distribuidor en Portugal y España:
inove.tec@reagro.pt
www.reagro.pt



► TODAS LAS SIMULACIONES SE EJECUTAN A LO LARGO DE UN AÑO Y UNA SUCESIÓN DE CULTIVOS, EVALUÁNDOSE INDICADORES PRODUCTIVOS, NUTRICIONALES Y MEDIOAMBIENTALES



Figura 1. Modelo de simulación DairyCant



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

1

y cuando se redujo el 30 %, las sucesiones anteriores se presentan como escenarios ESC22-ESC28.

Todas las simulaciones se ejecutan a lo largo de un año y una sucesión de cultivos, evaluándose indicadores productivos, nutricionales y medioambientales. Cada indicador viene expresado en base a un kilogramo de leche corregida en grasa y proteína (FPCM), estandarizada por un 4 % de grasa y un 3 % de proteína, utilizando la ecuación 1 [Ec. 1] (IDF, 2022) y un kilogramo de materia seca de forraje producido.

Las características productivas y reproductivas de las vacas lecheras utilizadas en los distintos escenarios dentro de cada tipología fue la misma que la línea de base u origen (650 kg de peso vivo, en la 24.ª semana de lactación, 2,5 lactaciones con parto continuo, 362 días de lactación y 431 días de intervalo entre de parto).

2.3. Configuración del modelo y límites del sistema

El DairyCant es un modelo empírico que simula la gestión de la producción y aspectos medioambientales de las explotaciones de vacuno de leche (figura 1).

El modelo se compone de los siguientes módulos: (i) el módulo de granja, el cual simula el potencial forrajero de la explotación y su destino (heno, ensilado o pastoreo); (ii) el módulo de alimentación simula las necesidades nutricionales, estimación del consumo de pastos y valoración potencial de la producción de leche a partir de la dieta establecida; (iii) el módulo de balance de la explotación y el estiércol simula la producción de estiércol, la excreción de nitrógeno (N) y fósforo (P) y sus eficiencias; (iv) el módulo de emisiones animales, (v)

el módulo de emisiones al suelo y (vi) el módulo de evaluación (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022).

Los datos necesarios para la modelización se obtuvieron a partir de estudios de campo de explotaciones lecheras individuales que disponían de información del uso del suelo, las instalaciones de ordeño, la composición del rebaño producción de leche, gestión del estiércol y dieta del rebaño (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022). Las operaciones agrícolas utilizadas para la modelización se muestran en la tabla 2 (pág. sig.). Brevemente, un laboreo profundo con vertedera y dos laboreos superficiales con vertedera para todos los cultivos.

Se asumió una fertilización nitrogenada de 135 kg/ha para el

maíz y de 30 kg/ha para CFI, excepto para el trébol *incarnatum*, que no lo recibe.

La fertilización orgánica se estimó mediante DairyCant (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022), aplicando el 31 % de los purines producidos al CFI y el 69 % al maíz, equivalente a 535-32-343 kg de N-P-K por hectárea y año en toda la sucesión de cultivos. Esta cantidad se obtuvo durante las simulaciones de la línea de base para alcanzar los rendimientos forrajeros indicados en las encuestas a los ganaderos. La misma cantidad se mantuvo para los escenarios. Se consideraron dos aprovechamientos en las praderas y una en los cereales de invierno, segadas en ambos casos al inicio del espigado y en la fase

reproductiva R5 en maíz (grano en línea de leche a 1/3 hacia la punta del grano). Todos los forrajes fueron fermentados en silos de zanja, utilizando una doble capa de plástico y el empleo de bacterias lácticas como conservantes excepto el maíz.

A efectos de modelización, se eligió Santander como localidad representativa de la región, con las condiciones climáticas que se muestran en la figura 2 (AEMET, 2015). Los purines son aplicados al campo de la misma manera en todos los escenarios y en la línea de base, sin cambios en la gestión.

2.4. Dieta de referencia y modificación de la dieta en cada escenario

Las dietas de las vacas lecheras (kg MS vaca y día) para cada tipología (línea de base y escenarios) figuran en la tabla 3. Las dietas de referencia se basaron en la información facilitada por los ganaderos. Las dietas de cada escenario se determinaron sustituyendo el heno de hierba y la paja de cereales de la dieta de referencia por ensilado de CFI y ensilado de maíz en cantidades iguales. Los escenarios donde se redujo el pienso un 15 % y 30 % se incrementó la misma cantidad en materia seca a partes iguales entre los ensilados de maíz y cultivos forrajeros de invierno.

Las necesidades de forraje de los CFI y maíz (kg de MS) con fines de alimentación (FR: necesidades de alimentación) en la explotación se calcularon mediante la ecuación 2 [Ec. 2].

La ingesta potencial de forraje para las vacas lecheras se calculó en base a su contenido de fibra detergente neutro (FND), considerando 1 kg de FND_{forraje} por 100 kg de peso vivo (NRC, 2021) y el tiempo necesario para ingerir 1 kg de FND_{forraje} según la ecuación 3 [Ec. 3] (Mertens, 1997).

2.5. Estimación de la producción de forraje

Se asumieron unas pérdidas de MS del 7 % debidas a la fermentación para el CFI y el maíz (Salcedo *et al.*, 2009) [Ec. 4].

La producción de biomasa de la base y de los escenarios se estimó mediante DairyCant (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022), utilizando la ecuación 5 (Salcedo, 2020); CFI (kg DM ha) [ecuaciones 6, 7 y 8]. ▶▶

Tabla 2. Operaciones agrícolas de los cultivos forrajeros

	Mz	Rit-Tbr	Trb	Rit	Tri-Hab	Tri	Vz-Av	Av
Operaciones 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
Fecha siembra	My	Oc	Oc	Oc	Oc	Oc	Oc	Oc
N.º plantas ha ⁻¹	90.000	-	-	-	-	-	-	-
Semillas, 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: maíz; Ri: raigrás italiano; Trb: trébol rojo; Tri: triticale; Hab: habines; Vz: veza y Av: avena. ^A: S-metolacloz + terbutilazina + sulcotriona

Figura 2. Temperaturas y precipitaciones

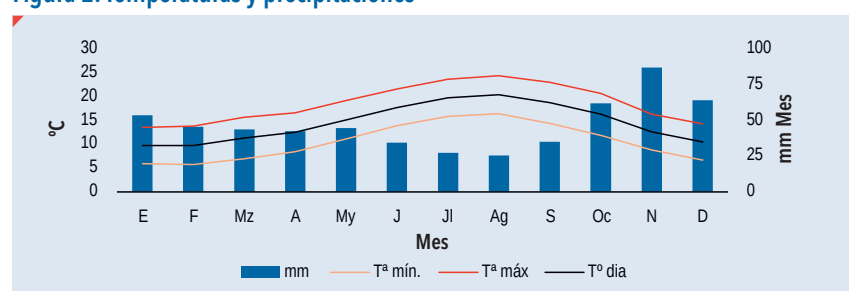


Tabla 3. Producción de materia seca, composición química de los alimentos¹

Cultivos forrajeros	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
Maíz	13,4	12,5	79	403	689	1,53	2,3
Hierba	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 + trébol	7,1	6,6	120	470	668	1,34	3,5
Trébol	7,2	6,7	209	301	710	1,42	2,6
Triticale + habines	7,7	7,2	119	614	578	1,37	2,2
Triticale	7,7	7,2	102	585	548	1,24	2,9
Avena + veza	7,0	6,5	131	575	576	1,36	2,8
Avena	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 del DairyCant (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022); O_i: oferta; N_i: neta PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; MOD: materia orgánica digestible; ENL: energía neta leche; P: fósforo; ²: concentrado vacas lecheras tipologías EHBA-EMz y EMz; ³: concentrado vacas secas tipologías EHBA-EMz y EMz; ⁴: concentrado novillas menores y mayores de un año tipologías EHBA-EMz y EMz.

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

2

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

3

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

4

► LA PRODUCCIÓN MEDIA TEÓRICA DE LECHE POR VACA Y DÍA PARA CADA ESCENARIO SE ESTIMÓ MEDIANTE EL MODELO DAIRYCANT TENIENDO EN CUENTA EL CONSUMO DE PIENSO, LA ENERGÍA NETA DIARIA DE LA LECHE Y LA PROTEÍNA BRUTA INGERIDA

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

5

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

7

c) $3545 + (15,3 \times \text{días cultivo}) + (4,7 \times \text{horas de calor acumuladas})$ para el trébol

8

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

9

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

10

$NUE_{\text{dieta}} (\%) = [N \text{ excretado en leche} / (N \text{ ingerido por las vacas en lactación})] \times 100$

11

$PUE_{\text{dieta}} (\%) = [P \text{ excretado en leche} / (P \text{ ingerido por las vacas lactantes})]$

12

2.6. Ecuaciones utilizadas para calcular la NUE y la PUE

La eficiencia de utilización del N ($NUE_{\text{explotación}}$) y la del fósforo ($PUE_{\text{explotación}}$) se estimaron con el modelo DairyCant utilizando las ecuaciones 9 y 10.

La eficiencia de utilización del N de la dieta (NUE_{dieta}) y del fósforo ingerido (PUE_{dieta}) se estimaron mediante las ecuaciones 11 y 12.

Se asumió una concentración de fósforo para la leche del 0,09 % (NRC, 2021). La producción media teórica de leche por vaca y día para cada escenario se estimó mediante el modelo DairyCant teniendo en cuenta el consumo de pienso, la energía neta diaria de la leche y la proteína bruta ingerida.

2.7. Estadística

Se utilizó el modelo lineal generalizado (GLM) para comparar las variables productivas nutritivas y medioambientales por tipología (T), escenario (ES) y concentrado (C) según el modelo:

- $Y_{ijklm} = m + T_i + ES_j + C_k + e_{ijklm}$
- Y_{ijklm} : variable dependiente; m: media global; T_i : efecto de la tipología; ES_j : efecto del cultivo forrajero; C_k : efecto de la reducción del concentrado; e_{ijklm} : error residual

Los efectos lineales o cuadráticos de cada escenario (forraje x concentrado) se analizaron mediante la prueba de contrastes ortogonales. Las diferencias entre los valores medios se analizaron mediante la prueba de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron con datos simulados.

3. RESULTADOS

Los resultados evalúan los aspectos productivos, nutricionales y

medioambientales de los escenarios estudiados y se expresan como la variación porcentual de los valores estimados en cada escenario respecto a los de la situación de partida de cada tipología. Los resultados se muestran en las figuras 4 y 5 para las tipologías Ehb-EMz y EMz, respectivamente.

3.1. Aspectos de la producción en la explotación

3.1.1. Producción de forraje y aspectos nutricionales

Los valores *in vitro* de materia orgánica digestible (MOD), proteína bruta (PB), energía neta de lactación (ENL) y fibra neutro detergente del forraje (FDN) de los diferentes forrajes en ambas tipologías (base y escenarios) se estimaron mediante el modelo DairyCant (tabla 2). Las estimaciones se basaron en la información incorporada en la base de datos de DairyCant relativa a la composición química y bromatológica de los forrajes producidos en la región de Cantabria. La materia orgánica digestible *in vitro* y la proteína bruta más elevadas se encontraron en la sucesión de maíz con trébol *incarnatum* (tabla 3). Mientras tanto, los cereales de invierno en siembra pura o asociados a leguminosas mostraron similar valor nutritivo con respecto al ensilado de hierba de la línea de base (tabla 3).

Los escenarios forrajeros simulados mostraron un aumento del 85,7 % y del 61,6 % de materia seca forrajera por hectárea con respecto a la base para la tipología Ehb-EMz y EMz, respectivamente (figura 3). La mayor disponibilidad de biomasa y su valor nutritivo estimado respecto a la base en ambas tipologías podría permitir sustituir parcialmente el concentrado

por forraje producido en la explotación y reducir parte de la compra de otros forrajes.

La sustitución de concentrado por forraje supuso 578 kg de materia seca por vaca y año menos en los escenarios ESC15-ESC21 y 1131 kg en los escenarios ESC22-ESC28 (tabla 4).

El rendimiento de materia seca forrajera fue mayor en el escenario maíz con avena en ambas tipologías, con valores de 22.474 kg/ha de MS para la tipología Ehb-EMz y 22.271 kg/ha de MS para la tipología EMz (escenario ESC4, figura 3). El escenario maíz con raigrás italiano en siembra pura mostró el menor rendimiento de materia seca por hectárea, con valores de 19.246 kg/ha de MS para la tipología Ehb-EMz y 19.044 kg/ha de MS para la tipología EMz (escenario ESC1, figura 3).

La menor ingesta de concentrado en los escenarios ESC15-ESC28 junto con una mayor DMO, PB, ENL y una menor FDN_i en los ensilados de forrajes de invierno en comparación con los ensilados de hierba (tabla 3), similar ingesta de materia seca por vaca y día en comparación con la base de las tipologías Ehb-EMz y EMz. En general, la ingesta de materia seca por vaca y día disminuiría ligeramente en una media del 0,1 % para la tipología Ehb-EMz y un 0,3 % para la tipología EMz, sin diferencias entre tipologías y escenarios (figuras 4 y 5). La ingesta de FND del forraje por 100 kg de peso vivo se vería aumentaría linealmente ($P < 0,001$) una media del 15,1 % para la tipología Ehb-EMz 3,7 % para la tipología EMz, con diferencias estadísticamente significativas entre tipologías y escenarios (figuras 4 y 5). ►►



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, nutricionales y medioambientales de los escenarios estudiados, expresados como la variación porcentual de los valores estimados en cada escenario respecto a los estimados en la situación de partida para la tipología 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 leche)	-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 leche)	-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 _{diet} (%)	-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 leche)	-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 _{diet} (%)	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 leche)	-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 leche)	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 leche)	-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
Leche 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
Leche (t/año)	-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 leche)	-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 leche (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 leche)	-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 leche)	-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 leche)	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

Los escenarios ESC1-ESC7: sucesión de maíz con: ESC1: raigrás italiano; ESC2: trébol *incarnatum*, ESC3: raigrás italiano + trébol *incarnatum*; ESC4: avena; ESC5: avena + veza; ESC: triticale; ESC7: triticale + habines; SCE8-SC14: mismas sucesiones que ESC1-ESC7, con igual número de vacas e igual consumo de pienso a la base u origen; ESC15-ESC21: igual que ESC8-ESC14, con una reducción 15 % de concentrado; ESC22-ESC28: igual que SCE8-SCE14, con una reducción del 30 % de concentrado



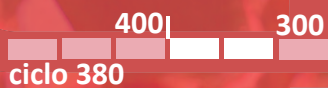
Variedades de MAÍZ recomendadas en GALICIA

Sciello



Doble aptitud

Foxway



Doble aptitud

Ilustrado



Grano

Pompeo



Doble aptitud

Filmeno



Doble aptitud

Conbrio



Doble aptitud

Figura 5. Aspectos productivos, nutricionales y medioambientales de los escenarios estudiados, expresados como la variación porcentual de los valores estimados en cada escenario respecto a los estimados en la situación de partida para la tipología 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 leche)	-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 leche)	-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 leche)	-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 leche)	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 leche)	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 leche)	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
Leche 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
Leche (t/año)	-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 leche)	-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 leche (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 leche)	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 leche)	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 leche)	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

Los escenarios ESC1-ESC7: sucesión de maíz con: ESC1: raigrás italiano; ESC2: trébol *incarnatum*, ESC3: raigrás italiano + trébol *incarnatum*; ESC4: avena; ESC5: avena + veza; ESC: triticale; ESC7: triticale + habines; SCE8-SC14: mismas sucesiones que ESC1-ESC7, con igual número de vacas e igual consumo de pienso a la base u origen; ESC15-ESC21: igual que ESC8-ESC14, con una reducción 15 % de concentrado; ESC22-ESC28: igual que SCE8-SCE14, con una reducción del 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

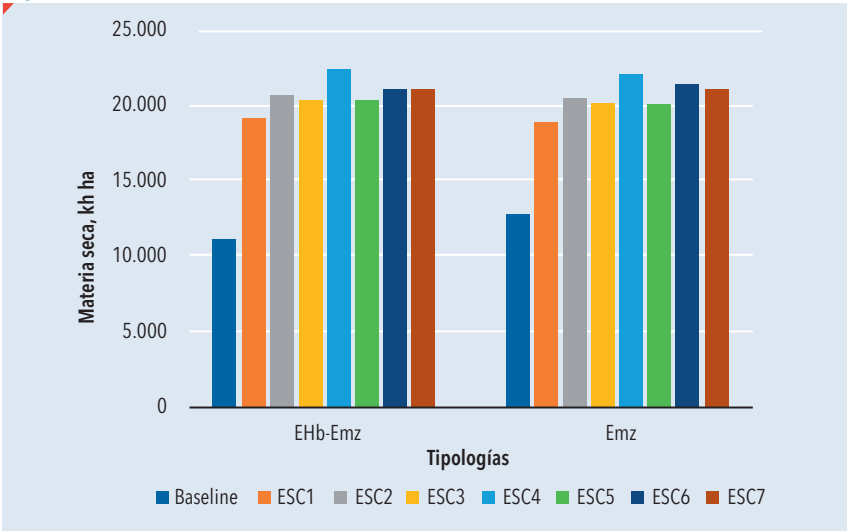
www.rockriverlab-spain.com - maria@rockriverlab-spain.com

Una vez más, los escenarios que implican sucesión de maíz con trébol *incarnatum* en ambas tipologías (escenarios ESC9-ESC16-ESC23) registraron el contenido más bajo de FDN_f (301 g kg MS, tabla 3).

3.1.2. Rendimiento lechero

Se estimó el impacto en la producción de leche, como resultado de los cambios en la dieta del rebaño en cada escenario. La sucesión de maíz con trébol *incarnatum* (escenarios ESC9-ESC16-ESC23) daría la mayor producción de leche (figuras 4 y 5). El resto de las sucesiones disminuirían la producción de leche en una media del 7,9 % y 6,3 % para la tipología EHb-EMz y EMz. Sin embargo, la mayor producción de forraje podría permitir el aumento del número de vacas lecheras, que se estimó para cada escenario como el número máximo de animales que podrían alimentarse utilizando el forraje producido en la explotación, calculado a partir de la ecuación 2. El número de vacas lecheras podría incrementarse en un 15,9 % y un 20,1 % de media para las tipologías EHb-EMz y EMz, respectivamente (figuras 4 y 5).

Figura 3. Forraje en kg MS por hectárea producido en A) tipología EHb-EMz y B) tipología EMz



Del mismo modo, la producción de leche de leche expresada en toneladas al año podría aumentar un 8,1 % y un 18,6 % de media para las tipologías EHb-EMz y EMz. El rendimiento máximo de la tipología EHb-EMz se obtuvo en los escenarios de maíz con trébol *incarnatum* (escenarios ESC9-ESC16-ESC23), seguidos de los escenarios de maíz con avena

(escenarios ESC11-ESC18-ESC25) e independientemente de la cantidad de concentrado presente en la dieta de las vacas lecheras. Para la tipología EMz la máxima producción se puede obtener en los escenarios que implican maíz en sucesión de sucesión avena-veza ESC11-ESC18-ESC25) y los escenarios de maíz con trébol *incarnatum* (escenarios SCE9-SCE16-SCE23) (figura 5).

Tabla 4. Consumo de alimentos en kilos de materia seca cabeza y día

Animales	Alimento, kg MS cabeza y día	Tipología base		Simulación EHbA-EMz			Simulación EMz		
		EHbA-EMz	EMz	CFI/Mz _{+conc. base}	<15 % Concentrado	<30 % Concentrado	CFI/Mz _{+conc. base}	<15 % Concentrado	<30 % Concentrado
Vacas lecheras	Ensilado maíz	5,9	8,6	6,4	7,1	7,9	9,4	10,1	10,9
	Ensilado hierba	4,8	3,5	-	-	-	-	-	-
	Ensilado cultivos forrajeros de invierno	-	-	5,3	6,1	6,8	4,3	5,0	5,9
	Heno de hierba	1,01	-	-	-	-	-	-	-
	Paja cereales	-	1,3	-	-	-	-	-	-
	Concentrado	10,1	10,5	10,1	8,6	7,1	10,5	8,3	7,3
Vacas secas	Ensilado maíz	1,4	1,4	3,0	3,0	3,0	4,3	4,3	4,3
	Ensilado hierba	5,4	4,5	-	-	-	-	-	-
	Ensilado cultivos forrajeros de invierno	-	-	7,0	7,0	7,0	7,4	7,4	7,4
	Heno de hierba	3,2	-	-	-	-	-	-	-
	Paja avena	-	1,3	-	-	-	-	-	-
	Concentrado	2,5	1,9	2,5	2,5	2,5	1,9	1,9	1,9
Novillas > 1 año	Ensilado maíz	1,4	0,3	2,6	2,6	2,6	2,3	2,3	2,3
	Ensilado hierba	3,1	4,5	-	-	-	-	-	-
	Ensilado cultivos forrajeros de invierno	-	-	4,3	4,3	4,3	6,5	6,5	6,5
	Heno de hierba	2,4	2,2	-	-	-	-	-	-
	Paja avena	-	1,7	-	-	-	-	-	-
	Concentrado	2,5	2,9	2,5	2,5	2,5	2,9	2,9	2,9
Novillas < 1 año	Ensilado maíz	0,5	0,3	2	2	2	2,0	2,0	2,0
	Ensilado hierba	1,4	0,9	-	-	-	-	-	-
	Ensilado cultivos forrajeros de invierno	-	-	2,8	2,8	2,8	2,0	2,0	2,0
	Heno de hierba	2,8	2,0	-	-	-	-	-	-
	Paja avena	-	1,3	-	-	-	-	-	-
	Concentrado	1,8	2,3	1,8	1,8	1,8	2,3	2,3	2,3

EHbA-EMz: tipología ensilado de hierba-ensilado maíz; EMz: tipología ensilado de maíz; CFI/Mz_{+conc. base}: Cultivos forrajeros invierno/Mz_{+concentrado base}

3.2. Impactos medioambientales

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

El excedente de N y P expresado en gramos por kilogramo de leche y gramos por kilogramo de materia seca de forraje disminuirían linealmente ($P < 0,001$) en todos los escenarios al reducir el concentrado respecto a la situación de partida de las tipologías. En concreto, el excedente de N, en g kg de leche disminuiría una media del 34,6 % y del 25,5 % para la tipología EHb-EMz y EMz respectivamente, con respecto a la situación de partida de cada tipología. Cuando se expresa en g kg de materia seca de forraje, el excedente de N disminuiría una media del 53,3 % y del 45,8 % para la tipología EHb-EMz y EMz, respectivamente, con respecto a la situación de partida de cada tipología.

En todos los casos, la mayor reducción del excedente de N se encontró en los escenarios integrados por maíz y avena (escenarios ESC11-ESC18-ESC25), seguidos de los escenarios integrados por maíz y trébol *incarnatum* (escenarios ESC9-ESC16-ESC3, figuras 4 y 5).

El excedente de P disminuiría una media del 93,4 % y 44,9 % cuando se expresa en g kg de leche y del 93,7 % al 59,8 % en g por kilo de materia seca para la tipología EHb-EMz y EMz, respectivamente.

La mayor reducción del excedente de P se encontró en los escenarios que implican maíz con avena (escenarios ESC11-ESC18-ESC25), seguido de los escenarios de maíz con avena y veza (escenarios ESC12-ESC19-ESC26, figuras 4 y 5).

La NUE_{dieta} en la leche disminuyó una media del 1,1 % para la tipología EHb-EMz y aumentó una media del 2,9 % en la tipología EMz, con diferencias estadísticamente significativas



entre tipologías y escenarios ($P < 0,001$) (figuras 4 y 5).

La NUE_{explotación} aumentaría una media del $2,2 \pm 0,4$ % y $3,8 \pm 1,0$ % para la tipología EHb-EMz y EMz, respectivamente, con diferencias estadísticamente significativas entre tipologías y escenarios ($P < 0,001$) (figuras 4 y 5). La misma tendencia de los indicadores NUE se observó para los indicadores PUE. La PUE_{dieta} disminuiría una media del 3,4 % para la tipología EHb-EMz y subiría del 3,1 % para la tipología EMz con diferencias estadísticamente significativas entre tipologías ($P < 0,01$) pero no entre escenarios ($P < 0,05$) y sin efecto lineal o cuadrático (figuras 4 y 5).

La PUE_{explotación} alcanzaría una media del $15,5 \pm 0,8$ % y del $8,9 \pm 1,2$ % respectivamente, con diferencias estadísticamente significativas entre tipologías y escenarios ($P < 0,001$) (figuras 4 y 5).

Las huellas de N total (HNT) y reactivo (HNr) de la base y en escenarios de cada tipología fueron estimadas por el modelo DairyCant teniendo en cuenta la compra de piensos, la reposición de animales, el uso de fertilizantes minerales, la fijación biológica y la deposición atmosférica.

La HNT se estimó como la suma del N en la explotación, mientras que HNr representa la suma de la fijación biológica, la deposición atmosférica y la suma de NH_3 , N_2O , NO_2 y el NO_3 (Sutton *et al.*, 2011). HNT se reduciría entre los escenarios y HNr aumentaría (figuras 4 y 5), cuando las huellas se expresadas en gramos por kilogramo de leche producida. Cuando la HNT y la HNr se expresan en gramos por kilogramo de materia seca forrajera producida, ambas huellas disminuirían linealmente ($P < 0,001$) a medida que el concentrado se reduce en los escenarios, con diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) con respecto a la situación de partida de las tipologías. Factores como la cantidad de fertilizante químico en los cultivos forrajeros de invierno y el menor aporte de concentrado podrían explicar la reducción de ambas huellas de N. Por ejemplo, los escenarios formados por maíz y trébol *incarnatum* en ambas tipologías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23), que se considera que no recibe fertilización química, mostraron las huellas de N más bajas (figuras 4 y 5). ▶

RAYADO Y PICADO de pasillos de establos

Marcos Villamide:
626 096 129



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

3.2.2. Emisiones de gases de efecto invernadero y captura de carbono

Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) de las tipologías EHb-EMz y EMz en la situación de referencia, expresadas en kilogramos de CO_2 por kilogramo de leche producida, serían de 0,261 y 0,239, respectivamente, disminuyendo en un 7,6 % y un 4,6 %, respectivamente, a medida que se redujera la ingesta de concentrado (tablas S5 y S6, material suplementario). Las emisiones de N_2O de las tipologías EHb-EMz y EMz (líneas de base), expresadas en g por kilo de leche, serían de 0,138 y 0,116 g, respectivamente, disminuyendo en el caso de EHb-EMz en una media de 8,8 % a medida que se reduce la ingesta de concentrado. El mayor descenso de CO_2 y N_2O se observó en los escenarios que implicaban maíz con trébol *incarnatum* en ambas tipologías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23, figuras 4 y 5).

Por otro lado, las emisiones de metano (CH_4), expresadas en kilogramos por kilogramo de leche producida ascenderían linealmente una media del 5,9 % y del 7,1 % en la tipología EHb-EMz y EMz, respectivamente, al sustituir el concentrado por forraje. El mayor incremento porcentual medio de CH_4 se observó en los escenarios de maíz y raigrás italiano más trébol *incarnatum* (escenarios SCE10-SCE17-SCE24) y el más bajo en los escenarios de maíz con trébol *incarnatum* en ambas tipologías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23, figuras 4 y 5).

El secuestro de carbono (SOC) sería de 13,6 y 31,4 g por kilo de leche producida en la situación de referencia para las tipologías EHb-EMz y EMz respectivamente, aumentando linealmente entre escenarios ($P < 0,05$) cuando se sustituyó el concentrado por forraje. Los escenarios con el mayor porcentaje de incremento de SOC fueron el maíz con avena (escenarios ESC11-ESC18-ESC25, figuras 4 y 5), en ambas tipologías.

En las simulaciones aquí presentadas, los cambios en SOC estuvieron dominados por cambios en el consumo de carbono, bien directamente a través de la reducción de concentrado o indirectamente a través de la reducción de fertilizantes. Las fuentes de C consideradas e incorporadas al suelo fueron los restos vegetales y los purines.

El contenido de materia seca de



La base territorial de muchas explotaciones del norte de España es limitada y la superficie ocupada de fuera de la explotación por vaca y año en ellas es de 1,14 y 1,28 hectáreas, respectivamente

los purines fue asumido de 106 g/kg, con una relación C/N de 11,9 (Salcedo, 2011). Además, se admitió que el 10 % del C aportado puede ser secuestrado en un horizonte de 100 años (Petersen *et al.*, 2013).

Los restos vegetales se estimaron como: kg materia seca de biomasa x 45 % C x 10 %, donde 45 es el porcentaje de C contenido en la materia seca incorporada (IPCC, 2006).

En conjunto, las emisiones de un litro de leche aumentarían una media del de 0,36 % y 2,9 % en las tipologías EHb-EMz y EMz, respectivamente, con diferencias estadísticamente significativas entre tipologías y escenarios ($P < 0,001$). Las menores emisiones se observaron en los escenarios de maíz y trébol *incarnatum* en ambas tipologías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23), mientras que las más elevadas se observaron en los escenarios de maíz con raigrás italiano más trébol *incarnatum* (escenarios SCE10-SCE17-SCE24, figuras 4 y 5). Por otro lado, las emisiones de un kilo de materia seca de forraje disminuirían en una media de 26,7 y 22,7 en las tipologías EHb-EMz y EMz, respectivamente, con diferencias estadísticamente significativas entre tipologías y escenarios ($P < 0,001$). De nuevo, las emisiones más bajas se observaron en los escenarios a base maíz y trébol *incarnatum* en ambas tipologías (escenarios SCE9-SCE16-SCE23, figuras 4 y 5). Para estos escenarios se consideró una menor aplicación de fertilizante nitrogenado, lo que podría explicar parte de la reducción de la huella de carbono.

3.2.3. Superficie ocupada por piensos fuera de la explotación

La base territorial de muchas explotaciones del norte de España es

limitada y la superficie ocupada de fuera de la explotación por vaca lechera y año en estas explotaciones es de 1,14 y 1,28 hectáreas, respectivamente, equivalente a 0,84 y 0,77 ha por unidad de ganado mayor (UGM), para las tipologías EMz y EHb-EMz, respectivamente. Esto representa el 49,8 % del total de la materia seca ingerida (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022).

En este estudio, la superficie de fuera de la explotación fue estimada por DairyCant en 1,24 y 0,91 m^2 kg de leche producida para la línea base de la tipología EHb-EMz y EMz, respectivamente, disminuyendo de forma lineal a medida que se reduce el consumo de concentrado, en una media de 24,4 % y 6,5 % en las tipologías EHb-EMz y EMz, respectivamente ($P < 0,001$) (figuras 4 y 5).

El CO_2 atribuido al cambio indirecto del uso de la tierra (iLUC) se estimó en 17,7 g kg de leche y 47,3 g kg de materia seca de forraje producido en la situación de referencia para ambas tipologías, disminuyendo linealmente a medida que se reducía el concentrado (figuras 4 y 5).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de investigación RTA2015-00058-C06 del Ministerio de Economía y Competitividad de España. Los autores agradecen la colaboración de los ganaderos implicados en este trabajo. ■

NOTA DE LOS AUTORES

Los datos complementarios de este artículo pueden consultarse en línea en *Agricultural Systems* 222 (2025) | 104184
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.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