

Pradera de *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. en Asturias. IV. Producción y composición de la leche en vacas Holstein en pastoreo (con y sin suplementación): análisis de 18 años

Begoña de la Roza-Delgado*, Adela Martínez-Fernández, M. Sagrario Modroño y Alejandro Argamentería

Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. Carretera AS-267, PK. 19, 33300 Villaviciosa. Asturias. España.

Resumen

En una finca experimental de Asturias (Norte de España; Arco Atlántico), con praderas de *Lolium perenne* y *Trifolium repens*, utilizadas en pastoreo rotacional y ensilado, aprovechada por un rebaño de vacas frisónas con partos de invierno, se determinó durante 18 años sucesivos la producción y calidad fisicoquímica de la leche según diversas suplementaciones, que variaban según dosis (en función de la producción o aporte fijo) y modalidades de concentrado (rico en almidón o en fibra digestible). A cada lote de animales se asignaron diferentes parcelas de pastoreo manteniendo una misma carga de 2,2 UGM/ha. Paralelamente a estos ensayos de larga duración, se efectuaron balances en energía y nitrógeno sobre vacas individualizadas en nave metabólica. Los resultados se emplearon para modelizar la producción y composición de la leche según semana de lactación mediante la función gamma incompleta con resultados concordantes. Las vacas en base a forraje produjeron 4.221 kg leche/vaca·año con 3,68 % de grasa y 3,01 % de proteína. Las novillas no pudieron permanecer sin suplementación y la respuesta a la misma se situó entre 1,55-1,82 kg leche/kg MS concentrado, influyendo más la dosis que la naturaleza del concentrado. El aporte fijo de concentrado (5 kg/cabeza·día) resultó la suplementación más efectiva y el concentrado con fibra de alta digestibilidad elevó el contenido en grasa de la leche.

Palabras clave: Vacuno lechero, pastoreo rotacional, calidad fisicoquímica de la leche.

Sown meadows of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* in Asturias IV. Milk production and composition in grazing Holstein cows (with and without supplementation): 18-year analysis

Abstract

Production and quality of milk were determined for 18 successive years according to different supplements, in an experimental farm in Asturias (Northern Spain; Atlantic Arc), provided with *Lolium perenne* and *Trifolium repens* sown meadows, used for rotational grazing and silage by a herd of Friesian dairy cows with grouped winter calvings. The concentrate used for supplementation varied according to dose

* Autor para correspondencia: broza@serida.org

Cita del artículo: De la Roza-Delgado B., Martínez-Fernández A., Modroño M.S., Argamentería A. (2024). Pradera de *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. en Asturias. IV. Producción y composición de la leche en vacas Holstein en pastoreo (con y sin suplementación): análisis de 18 años. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 120(4): 360-379. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.012>



(depending on yield or fixed contribution) and concentrate type (rich in starch or digestible fiber). Different grazing plots were assigned to each dairy group, maintaining the same stocking rate of 2.2 UGM/ha. Parallel to these long-term trials, energy and nitrogen balances were carried out on individualized cows in a metabolic house. The results in this regard were used to model milk production and composition by lactation week using the incomplete gamma function with concordant results. Forage-based cows produced 4,221 kg milk/cow-year with 3.68 % fat and 3.01 % protein. The heifers could not remain without supplementation and the response to it was between 1.55-1.82 kg milk/kg DM concentrate. The concentrate dose had more influence on milk production than the nature of this. The most effective supplementation was the fixed concentrate intake of 5 kg/head-day and the highly digestible fiber concentrate increased the milk fat content.

Keywords: Milk cows, rotational grazing, physical-chemical quality of milk.

Introducción

La producción de leche de vaca constituye una actividad estratégica para el desarrollo económico y el equilibrio territorial de determinadas zonas del Estado español, sobre todo, en la denominada España húmeda (Flores-Calvete *et al.*, 2022). Los sistemas lecheros basados en pastos y forrajes están muy extendidos por todo el Arco Atlántico europeo y tienen influencia en la calidad de la leche (De La Torre-Santos *et al.*, 2021). En la zona costera del Norte de España, los sistemas de producción de leche no pueden ser tan extensivos como en otros países de zonas templado-húmedas, debido a las limitaciones de disponibilidad de superficie, topografía, etc., por lo que se requiere una mayor suplementación, sin dejar de aprovechar lo máximo posible el valor nutritivo de los forrajes de estas áreas geográficas. En Asturias, al igual que en Galicia, en el último cuarto del pasado siglo se observó una reducción en el uso de forrajes, en paralelo a la evolución de los sistemas de producción de leche hacia modelos más intensivos (Flores *et al.*, 2011). No obstante, la estrategia agroambiental de la PAC (2023-2027) esta encaminada a aumentar la sostenibilidad de los ecosistemas agrarios, reforzando el respeto de las normas agrícolas y ambientales que favorezcan la protección

contra la erosión, el mantenimiento de la materia orgánica y la estructura del suelo, la calidad de las aguas, y los procesos del ecosistema. Además, hay una clara tendencia de los consumidores a incluir en la dieta leche y derivados producidos con animales en pastoreo, relacionada con aspectos éticos en el manejo animal.

Las praderas son los principales cultivos forrajeros de las explotaciones ganaderas de leche de Galicia y toda la Cornisa Cantábrica. Su correcto aprovechamiento mediante el pastoreo permite disponer de un forraje barato y de gran calidad nutritiva (Vázquez Yáñez *et al.*, 2005). Además, el perfil de ácidos grasos y antioxidantes de la leche está relacionado con el sistema de alimentación de las vacas lecheras, de forma que el pastoreo disminuye la proporción de ácidos grasos saturados y aumenta el contenido de ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico conjugado (CLA), y los antioxidantes, como luteína y β -criptoxantina (De La Torre-Santos *et al.*, 2021). De acuerdo con Flores-Calvete *et al.* (2022), los compuestos carotenoides y tocoferoles, presentes en los pastos y forrajes, son fuentes de vitaminas A y E, tienen carácter antioxidante y, dado su carácter lipofílico, están presentes en la grasa de la leche y se consideran de interés por su carácter bioactivo con efectos positivos para la salud humana.

Iniciada la actividad investigadora en la Unidad de Producción de Leche del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias (SERIDA), Balch (1989) y Balch y Argamentería (1992) observaron que, el descenso del contenido en proteína de la leche durante el verano en Asturias, estaba asociado a una pérdida de condición corporal, sugiriendo una situación de subalimentación energética. Paralelamente, en la finca experimental del SERIDA, próxima a Villaviciosa (Norte de España, Arco Atlántico; 43° 28' 50" N, 5° 26' 27" W, 10 m s.n.m), rasa marítima oriental de Asturias, se determinó durante 12 años consecutivos la producción y contenido en principios nutritivos de prados, praderas y cultivos forrajeros anuales, trabajos orientados a mejorar los sistemas forrajeros de las explotaciones lecheras, en aras de aumentar la eficiencia en el uso de los recursos y minimizar los desechos y la contaminación, recogiendo la variabilidad interanual e interestacional (Martínez-Fernández et al., 2008). En el caso concreto de la pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en régimen de sólo pastoreo, la utilización de pasto resultó de $7,27 \pm 0,211$ t MS/ha·año en $8,8 \pm 0,10$ aprovechamientos/año. La media anual $\pm$ error estándar de digestibilidad neutro detergente-celulasa fue de $65,0 \pm 0,47$ % para las ofertas y de $55,3 \pm 0,43$ % para los rechazos, con un mínimo en agosto para ambos. Permite estimar un promedio anual de digestibilidad in vivo de la materia orgánica superior a $73,1 \pm 0,27$ %, equivalente a EM1x superior a $10,5 \pm 0,04$ MJ/kg MS.

Los balances nutricionales efectuados posteriormente por de la Roza-Delgado et al. (2022b) en esa misma finca y pradera, arrojaron unos resultados *in vivo* para EM1x de 11,1-11,7 MJ/kg MS en primavera, 8,9-10,2 MJ/kg MS en verano y 10,8-11,3 MJ/kg MS en otoño, concordantes con lo anterior y, sin suplementación, unidos a muy baja condición corporal

en primavera ($1,63 \pm 0,046$; escala 1-5) y verano ($1,70 \pm 0,077$). Todo lo anterior sugiere la necesidad de una suplementación que compense la pérdida de la EM1x de la pradera en verano y evite la pérdida de condición corporal. Para ello, se dispone de la información de los trabajos de de la Roza-Delgado et al. (2022b y 2023) y de los datos de producción y composición de la leche, peso vivo y condición corporal del rebaño de vacuno lechero de la finca a lo largo de 18 años (12 de ellos comunes con los periodos de balances nutricionales y habiéndose utilizado los mismos alimentos).

El objetivo general del presente trabajo fue elaborar a partir de los datos de diferentes niveles de suplementación y su repercusión en la producción de leche en vacas Holstein pertenecientes al SERIDA y recogidos a lo largo de 18 años recomendaciones de índole nutricional para suplementación de la pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* de la zona costera del Norte de España, tras el análisis de los resultados de balances nutricionales, las producciones y calidades de la leche, obtenidas en diferentes lactaciones completas a lo largo de los años.

Material y métodos

Finca experimental, rebaño e instalaciones

El estudio se realizó en 24 ha de praderas de *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L., con suelo arcilloso y húmedo, divididas por cerca eléctrica en 18 parcelas de 0,8-1,9 ha para pastoreo rotacional, con bebedero de nivel en cada una e intercomunicadas entre sí y con las instalaciones por un camino de acceso. Las praderas formaban parte de la Unidad de Producción de Leche del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA) del Principado de Asturias.

Las praderas recibieron fertilización fosfotásica, según resultados periódicos de análisis de suelo. La fertilización nitrogenada, bajo forma de urea, consistió en coberteras de 30 kg N/ha tras cada pase de pastoreo en primavera y otoño temprano, salvo situaciones de encharcamiento, sequía o exceso de forraje. El área reservada para ensilar recibía 100 kg N/ha antes de un primer corte y 80 kg N/ha antes del segundo. El rebaño experimental lo integraban 60 cabezas de raza Holstein (10-20 % novillas de primer parto), con partos agrupados a la salida del invierno. Las medias $\pm$ errores estándar fueron de 798 $\pm$ 18 kg MS/vaca-día para la presión de pastoreo y, para las alturas de pasto, de 18,86 $\pm$ 0,85 cm a la entrada y 7,67 $\pm$ 0,36 cm a la salida. Se disponía de equipo de ordeño, patio de ejercicio, manga para manejo, parque de maquinaria e instalaciones de índole experimental, incluida una nave metabólica para vacuno lechero con nueve plazas de adaptación y seis para recolección de heces, orina y leche (de la Roza-Delgado et al., 2023).

Diseño experimental

Durante 18 años sucesivos, el rebaño experimental se dividió en tres lotes de 20 cabezas cada uno, lo más homogéneos posible en cuanto a número de lactación y fecha prevista de parto. Dicha división fue siempre al azar, pudiendo cada animal permanecer o no con el mismo tratamiento. Un lote, considerado testigo, se alimentaba exclusivamente en base a pasto y a los otros dos se les suplementó con tres concentrados diferentes (B1, B2, B) y cuatro escalas de suplementación (E1, E2, E3, E4). No hubo un cruzamiento total "concentrado $\times$ escala" y finalmente se emplearon siete suplementaciones: B1E1; B1E2, B2E1, B2E2, B2E3, B2E4, BE4. El concentrado B1 aportaba un alto contenido en proteína, procedente de una elevada inclusión de harina de pescado, mezclada con cebada. El B2 era similar, pero con la mitad de

harina de pescado y, por tanto, con menor contenido proteico. El B estaba formulado con trigo y subproductos como fuente de fibra de alta digestibilidad. La escala E1 correspondía a 9,5-0 kg concentrado/cabeza-día según producción. La escala E2, a 5-0 kg concentrado/cabeza-día según producción. La E3, a 3 kg concentrado/cabeza-día durante primavera (marzo-mayo) y 5 kg concentrado/cabeza-día el resto de la lactación. La E4, aportaba un valor constante de 5 kg concentrado/cabeza-día durante toda la lactación (Tabla 1). La suplementación asignada inicialmente a cada animal se mantenía durante toda la lactación. Los concentrados se elaboraban semestralmente y se efectuó análisis químico de las muestras recogidas a lo largo de los periodos de balance nutricional. Los promedios generales de análisis y resultados de balance energético se presentan en las Tablas 2 y 3. El concentrado se distribuyó dos veces al día, en dos dosis iguales durante dos horas después de cada ordeño diario. Los cuatro primeros años, de forma manual en comedero autotrabante y, con posterioridad, mediante dispensadores automáticos programados e identificación electrónica de cada vaca.

A cada lote de animales, se le asignaron diferentes parcelas de pastoreo, las mismas durante toda la lactación, de forma que resultase una carga ganadera de 2,2 UGM/ha. El manejo de la superficie forrajera fue el mismo según lotes, según Martínez-Fernández et al. (2008).

La producción de leche de cada vaca en cada ordeño fue registrada diariamente a lo largo de todos los ensayos. Los seis primeros años, mediante medidores manuales y posteriormente mediante un registro electrónico proporcionado por un sistema robotizado de ordeño DeLaval. A mitad de cada semana se tomaron muestras individuales de leche de cada vaca proporcionales a cada uno de los dos ordeños diarios, que fueron conservadas refrigeradas a 4 °C con conservante (di-

Tabla 1. Composición en ingredientes de los concentrados, escalas de suplementación y años en que se utilizaron.

Table 1. Ingredient composition of the concentrates, supplementation scales and years in which they were used.

Concentrado	Ingrediente	% de inclusión
B1	Cebada	75
	Harina de pescado	25
	Microcorrector vitamínico-mineral	50 g/vaca-día
B2	Cebada	85
	Harina de pescado	12,5
	Corrector vitamínico-mineral	2,5
B	Trigo	24,25
	Pulpa de remolacha	24,25
	Gluten de maíz	39
	Melaza	5,5
	Pulpa de cítricos	2,5
	Tercerilla	2
	Corrector vitamínico-mineral	2,5
Escala de suplementación	Kg concentrado/vaca-día	
E1	9,5-0 kg según producción de leche	
E2	5-0 kg según producción de leche	
E3	2 kg en primavera y 5 kg durante el resto de la lactación	
E4	5 kg durante toda la lactación	
Combinación: concentrado/escala	Año en que se aplicó	
B1E1	3 y 4	
B1E2	5 y 6	
B2E1	4 y 5	
B2E2	6 y 7	
B2E3	8	
B2E4	7, 8 y 9	
BE4	9 a 18	
Testigo sin suplementación	1 a 18 (todos)	

Tabla 2. Contenido en principios nutritivos de los concentrados B1, B2 y B (medias recortadas 20 % ± errores estándar y niveles de significación de las diferencias).
Table 2. Nutrient contents of concentrates B1, B2 and B (means trimmed 20 % ± standard errors and significance levels of the differences).

Principio nutritivo	Concentrado			p
	B1	B2	B	
Materia seca (%)	89,1 ± 0,38	89,0 ± 0,23	88,9 ± 0,09	NS
Cenizas	7,8 ± 0,56b	6,1 ± 0,22a	8,0 ± 0,12b	*
Proteína bruta	23,1 ± 0,97c	19,4 ± 0,26b	14,9 ± 0,25a	***
Extracto etéreo	4,1 ± 0,38c	3,3 ± 0,07b	2,7 ± 0,12a	*
Fibra bruta	5,7 ± 0,39b	4,5 ± 0,14a	8,8 ± 0,23c	**
Materiales extractivos libres de nitrógeno	59,4 ± 1,69c	66,7 ± 0,29b	65,6 ± 0,41a	*
Fibra neutro detergente	26,6 ± 1,82b	21,8 ± 0,71a	27,9 ± 0,73b	**
Fibra neutro detergente libre de cenizas	26,5 ± 1,81b	21,3 ± 0,69a	27,8 ± 0,71b	**
Energía bruta (MJ/kg materia seca)	18,1 ± 0,37b	18,3 ± 0,11b	17,4 ± 0,14a	***

a,b,c: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p \leq 0,05$.

Tabla 3. Contenido en energía digestible (MJ/kg MS), energía metabolizable (MJ/kg MS) y energía neta de lactación (Mcal/kg MS) de los concentrados B1, B2 y B.
Table 3. Content in digestible energy (MJ/kg DM), metabolizable energy (MJ/kg DM) and net energy of lactation (Mcal/kg DM) of concentrates B1, B2 and B.

Concentrado	ED resultante	EM resultante	ED1x	EM1x	UFL/kg MS	ENI3x
B1	14,5	13,1	15,7	12,8	1,44	1,87
B2	14,5	12,7	15,7	12,7	1,17	1,90
B	13,8	12,2	14,1	10,7	1,19	1,95

ED: Energía digestible; EM: Energía metabolizable; UFL: Unidades forrajeras leche; ENI: Energía neta de lactación. 1x: Valores referidos a nivel de mantenimiento; 3x: Valores referidos a nivel de alimentación = 3.

cromato potásico) y se trasladaron al Laboratorio Interprofesional Lechero de Asturias (LILA), para su análisis de calidad fisicoquímica determinándose el contenido en grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos, mediante MilkoScan FT 6000.

El peso vivo de cada animal se determinó al parto y al inicio y final de cada periodo de balance nutricional (báscula Salter de 1000 ± 0,1 kg) y la condición corporal fue estimada mensualmente según escala 1-5 de García-Paloma (1990).

Con el fin de garantizar la independencia lineal entre observaciones (Robinson, 2016; Lamberson 2016), se tomaron como variables dependientes finales los promedios anuales de cada uno de los tres rebaños, considerándose el año como repetición.

En los últimos doce años, los ensayos se completaron con determinaciones de digestibilidad, balances en energía y nitrógeno e ingestibilidad y nivel de sustitución, sobre las vacas de los mismos rebaños experimentales individualizadas en una nave metabólica y recibiendo la misma dieta que el resto del rebaño. Los valores de producción y calidad físico-química de la leche pudieron así vincularse a unas características del animal (peso vivo, variación del mismo, condición corporal y semana de lactación) rigurosamente controladas (de la Roza-Delgado et al., 2022a, 2022b y 2023). Los datos recogidos se utilizaron para modelizar curvas de lactación y comprobar la concordancia con los resultados de lactaciones completas, mediante el modelo de curva de lactación según Wood (1976), en el cual se considera que, la evolución de la producción y composición de la leche (Y) en función de la semana de lactación (n), no es lineal, sino que se ajusta a una función gamma incompleta:

$$Y = a \times n^b \times e^{c \times n} \quad [1]$$

La totalidad de los datos recogidos y las fuentes de variación consideradas no permiten estimar con suficiente precisión los tres coeficientes a, b, c de la ecuación de Wood (1976), por ello, se adoptaron los valores originales b y c del mencionado modelo, basados en cientos de miles de datos y, en función de ellos, se calculó el término $n^b \times e^{c \times n}$, como única variable independiente. Se consideró además el efecto fijo de la suplementación. No fue posible incluir el del forraje, debido a que, como consecuencia de la agrupación de partos, su efecto se confunde con el de la semana de lactación: durante fase creciente y

máximo de lactación se ingiere siempre hierba de primavera, a mitad de lactación hierba de verano (o ensilado de hierba en caso de sequía) y, al final de lactación, hierba de otoño o ensilado de hierba.

Análisis estadístico

Se utilizó la aplicación informática de libre uso R Core Team (2013). Las variables de producción y composición de la leche no presentaron falta de normalidad ni de homocedasticidad. Sin embargo, por razones de homogeneidad con el resto de la información procesada en los trabajos previos, se continuó utilizando estadística robusta (Wilcox, 2017).

Producción y composición de la leche obtenida en los balances nutricionales (solo vacas multíparas)

Se utilizó el paquete estadístico MASS con el procedimiento rlm de regresión robusta según modelo:

$$Y = a \times Tn + Supl \quad [2]$$

donde:

Y = kg leche/cabeza·día, % de grasa, % de proteína, kg grasa/cabeza·día, kg proteína/cabeza·día.

Tn = Término calculado según Wood (1976) en función de n.

Supl = Efecto fijo de la suplementación

a = Coeficiente de regresión, indicativo del valor máximo potencial de producción de leche, grasa, proteína y % de estas dos últimas.

Se efectuó un ensayo preliminar considerando solamente Supl = Si, No, mediante cálculo de medias recortadas 20 % y test de Youen.

A continuación, se procedió al contraste definitivo Supl = B1E1, B1E2, B2E1, B2E2, B2E3, B2E4, BE4. Las diferencias según niveles del factor Supl, se establecieron a continuación

Tabla 4. Producción de leche y contenidos en grasa y proteína según función gamma incompleta y efecto de la suplementación (sólo vacas multiparas).

Table 4. Milk yield and fat and protein contents according to incomplete gamma function and supplementation effect (only multiparous cows).

Modelo	$Y = a \times n^b \times e^{(c \times n)} + \text{Supl}$				
Y =	Producción de leche (kg/día)	Grasa (%)	Proteína (%)	Grasa (kg/día)	Proteína (kg/día)
a =	26,00	1,11	4,96	1,60	0,85
b =	0,20	-0,13	-0,12	0,07	0,08
c =	-0,04	0,02	0,01	-0,02	-0,03
Iteraciones	8	5	9	6	5
Estimación de escala	3,7	0,57	0,24	0,16	0,11
Efecto suplementación					
B1E1	-2,0ab	3,46b	-1,01	-0,46b	0,012ab
B1E2	-1,7ab	2,67a	-1,33	-0,60a	-0,027ab
B2E1	-3,9ab	3,23ab	-1,08	-0,57a	-0,069ab
B2E2	-3,7ab	2,78a	-1,35	-0,64a	-0,091ab
B2E3	1,4ab	2,91ab	-1,46	-0,40b	0,056ab
B2E4	1,5b	2,75a	-1,29	-0,44b	0,072b
BE4	1,2ab	2,89ab	-1,34	-0,43a	0,058ab
No	-5,2a	3,07ab	-1,30	-0,65b	-0,135a

n: Semana de lactación; Supl: Efecto de la suplementación. B1: 75 % cebada + 25 % harina de pescado + microcorrector. B2: 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector vitamínico mineral. B: Subproductos + 2,5 % corrector vitamínico mineral. No: Sin suplementación. E1 = 9,5-0 kg/día según producción; E2 = 5-0 kg/día según producción; E3 = 2 kg/día durante primavera y 5 kg/día el resto del año; E4 = 5 kg/día constante. a,b: Señala $p < 0,05$; si no lleva letra será no significativo.

con el paquete estadístico WRS2, mediante análisis de varianza robusto *t1way*, seguido de los contrastes lineales entre suplementaciones.

A continuación, se efectuaron contrastes dos a dos, dentro de suplementación Sí, también con medias recortadas 20 % y *t1way*. Ver Tabla 4.

Producción y composición de la leche según lactaciones completas (vacas y novillas)

Como las novillas demostraron desde un principio que no podían mantenerse exclusivamente en base a sólo forraje, el contraste suplementación Sí vs. No, sólo se pudo efectuar sobre vacas, mediante cálculo de medias recortadas 20 % y test de Youen.

Resultados

Ensayo previo: contrastes de suplementación = Sí vs. suplementación = No

Sin ingestión de concentrado, se reducen las producciones de leche, de grasa y de proteí-

na ($p < 0,001$ en los tres casos) y no se presentan efectos significativos sobre los % de estas dos últimas.

Evolución de la producción de leche, grasa, y proteína según semanas de lactación y modalidad de suplementación (vacas multíparas; balances nutricionales)

En cuanto a los efectos concretos de cada suplementación, como se puede apreciar en la Tabla 4, sólo la modalidad B2E4 elevó significativamente la producción de leche y la de proteína. Las restantes modalidades, influyen sobre el contenido y producción de grasa de forma muy variable y, no siempre en el mismo sentido. No obstante, la respuesta a la suplementación en general, es de 1,82 kg leche/kg MS concentrado.

Lactaciones completas de vacas multíparas y novillas

Las novillas no pudieron mantenerse en pastoreo sin suplementación. La pérdida de peso resultó excesiva y, ya desde el inicio de las sucesivas experiencias, tuvieron que ser excluidas de los rebaños testigo, así como de los balances nutricionales.

Con relación a los rendimientos obtenidos por las vacas multíparas, la producción total de las novillas fue del 68,4 % para leche; 64,5 % para grasa y 67,0 % para proteína. En cuanto a los % de grasa y proteína, aunque superiores en vacas, no presentaron significación estadística.

Como era de esperar, las vacas, sin suplementación, produjeron menos leche que las vacas con suplementación, siendo la reducción de 157 kg grasa/vaca-año y 128 kg proteína/vaca-año.

La respuesta a la suplementación en vacas, incrementó la producción de leche, con una respuesta de 1,55 kg leche/kg MS concen-

trado ($p < 0,001$). También elevó el % de proteína ($p < 0,01$) y la producción de dicho componente ($p < 0,001$). Sin embargo, se redujo el % de grasa ($p < 0,05$), no quedando afectada significativamente la producción total de este componente.

Respecto a efectos sobre la condición corporal, contrastando previamente en vacas multíparas Suplementación = No vs. Si, las medias trimadas $20 \% \pm$ error estándar resultaron respectivamente $1,70 \pm 0,032$ vs. $1,80 \pm 0,034$ ($p = 0,05$).

En la Tabla 5, se presenta la influencia de cada modalidad de suplementación sobre las lactaciones de vacas y novillas. Con las escalas E3 y E4, se obtuvo mayor producción de leche, de grasa y de proteína que con las escalas E1 y E2, pero sin diferencias significativas para los % de grasa y de proteína.

Con la escala E1, se obtuvo mayor producción de leche que con la E2 ($p < 0,01$). Aunque no se alcanzase el nivel de significación $p \leq 0,05$, se considera conveniente tener también en cuenta que, con la escala E1, se dio menor % de grasa ($p = 0,058$) y mayor de proteína ($p = 0,100$). Así mismo, hay que considerar la mayor producción de leche obtenida con el concentrado B1 ($p = 0,068$). Aplicando la escala E4, el concentrado B fue el que generó mayor % y producción de grasa ($p \leq 0,05$, en ambos casos).

La Tabla 6 presenta los efectos sobre la condición corporal de las siete suplementaciones empleadas. La suplementación B1E1 permite un mayor promedio anual frente a las restantes, a excepción de B2E1.

Producción y calidad de la leche estimadas según función gamma incompleta vs. los valores reales obtenidos en lactaciones completas

La Figura 1 presenta en diagrama de barras los valores reales y los estimados para el parámetro producción de leche total por lacta-

Tabla 5. Lactaciones completas del rebaño de vacas lecheras (vacas y novillas): producción y composición de la leche promedio de 18 años. Medias recortadas 20 % $\pm$ error estándar.

Table 5. Total lactations of the herd of dairy cows (primiparous and multiparous cows): 18 years average milk production and composition. 20 % trimmed means $\pm$ standard error.

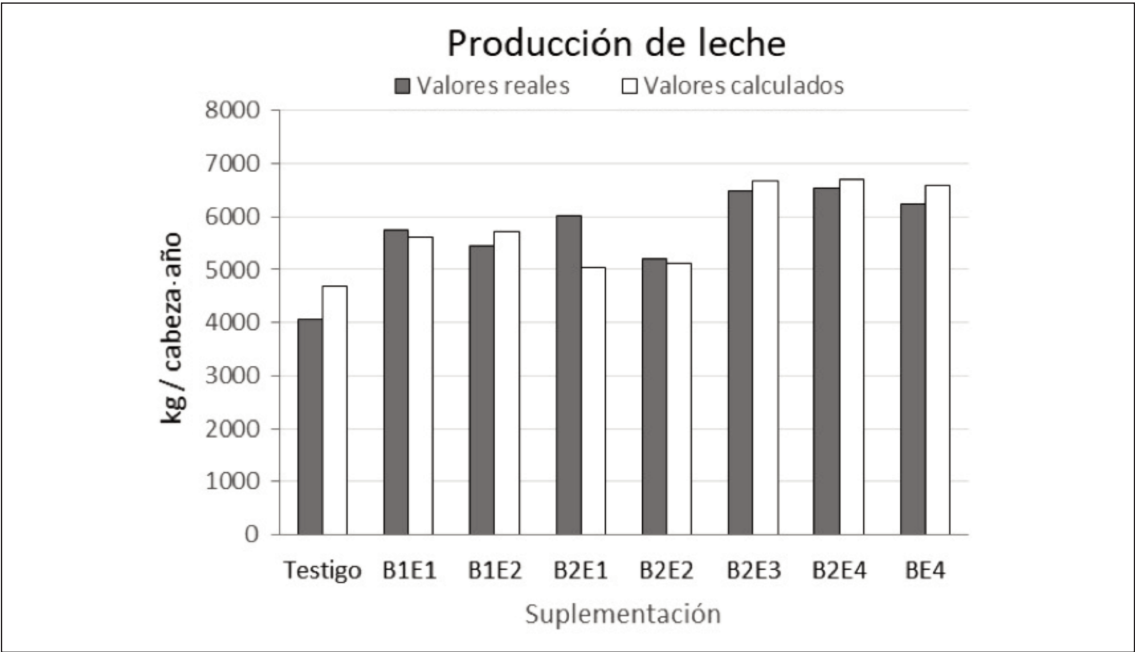
	Leche		Grasa		Proteína
	kg/cabeza·año	%	kg/cabeza·año	%	kg/cabeza·año
Animal					
Novillas	4164 $\pm$ 198,1	3,24 $\pm$ 0,095	138 $\pm$ 7,0	3,09 $\pm$ 0,048	128 $\pm$ 5,5
Vacas	6085 $\pm$ 168,4	3,51 $\pm$ 0,092	214 $\pm$ 8,6	3,15 $\pm$ 0,031	191 $\pm$ 5,3
Suplementación(Concentrado_Escala)					
B1_E1	5276 $\pm$ 294,1	3,06 $\pm$ 0,137	162 $\pm$ 15,5	3,15 $\pm$ 0,041	166 $\pm$ 10,2
B1_E2	4521 $\pm$ 588,5	3,34 $\pm$ 0,111	152 $\pm$ 21,5	3,09 $\pm$ 0,014	140 $\pm$ 18,6
B2_E1	4888 $\pm$ 627,3	3,23 $\pm$ 0,158	160 $\pm$ 25,0	3,2 $\pm$ 0,046	156 $\pm$ 20,1
B2_E2	3983 $\pm$ 712,2	3,54 $\pm$ 0,056	140 $\pm$ 23,2	3,11 $\pm$ 0,022	124 $\pm$ 21,5
B2_E3	5330 $\pm$ 1157,0	3,17 $\pm$ 0,110	170 $\pm$ 42,2	3,23 $\pm$ 0,010	172 $\pm$ 36,5
B2_E4	5680 $\pm$ 461,3	3,40 $\pm$ 0,126	193 $\pm$ 17,2	3,11 $\pm$ 0,064	176 $\pm$ 13,8
B_E4	5536 $\pm$ 393,5	3,87 $\pm$ 0,155	215 $\pm$ 20,0	3,05 $\pm$ 0,122	169 $\pm$ 14,9
Contrastes					
Novillas vs. vacas	***	ns	***	ns	***
Escalas E1, E2 vs. E3, E4	**	ns	***	ns	**
Dentro de escalas E1 y E2:					
Animal	***	ns	***	ns	***
Concentrado	p = 0,068	ns	ns	ns	ns
Escala	**	p = 0,058	ns	p = 0,100	**
Interacciones	ns	ns	ns	ns	ns
Dentro de escala E4:					
Animal	***	ns	***	ns	***
Concentrado	ns	*	*	ns	ns
Animal: Concentrado	ns	ns	ns	ns	ns

n: Semana de lactación; Supl: Efecto de la suplementación. B1: 75 % cebada + 25 % harina de pescado + microcorrector. B2: 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector vitamínico mineral. B: Trigo + subproductos + 2,5 % corrector vitamínico mineral. No: Sin suplementación. E1 = 9,5-0 kg/día según producción; E2 = 5-0 kg/día según producción; E3 = 2 kg/día durante primavera y 52 kg/día el resto del año; E4 = 5 kg/día constante.

Tabla 6. Condición corporal según suplementación (media anual recortada 20 % ± error estándar).
Table 6. Body condition score according to supplementation (annual mean trimmed 20 % ± standard error).

Modalidad de suplementación	Condición corporal (promedio anual)
B1E1	2,13 ± 0,045 b
B1E2	1,76 ± 0,099 a
B2E1	1,72 ± 0,249 ab
B2E2	1,78 ± 0,078 a
B2E3	1,87 ± 0,092 a
B2E4	1,80 ± 0,040 a
BE4	1,82 ± 0,127 a
Testigo sin suplementación	1,68 ± 0,031 a

Concentrados: B1: 75 % cebada + 25 % harina de pescado + microcorrector vitamínico-mineral. B2: 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector vitamínico-mineral. B: Trigo + subproductos + Corrector vitamínico-mineral. a,b: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p \leq 0,05$. Escalas de suplementación: E1 = 9,5-0 kg/día según producción; E2 = 5-0 kg/día según producción; E3 = 2 kg/día durante primavera y 52 kg/día el resto del año; E4 = 5 kg/día constante.



B1: 75 % cebada + 25 % harina de pescado + microcorrector. B2: 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector vitamínico mineral. B: Trigo + subproductos + 2,5 % corrector vitamínico mineral. E1 = 9,5-0 kg/día según producción; E2 = 5-0 kg/día según producción; E3 = 2 kg/día durante primavera y 5 kg/día el resto del año; E4 = 5 kg/ día constante.

Figura 1. Producción de leche con lactaciones completas versus valores calculados según función gamma incompleta (vacas multiparas) y escala de suplementación.
Figure 1. Milk yield with full lactations versus values calculated according to incomplete gamma function (multiparous cows) and scale of supplementation.

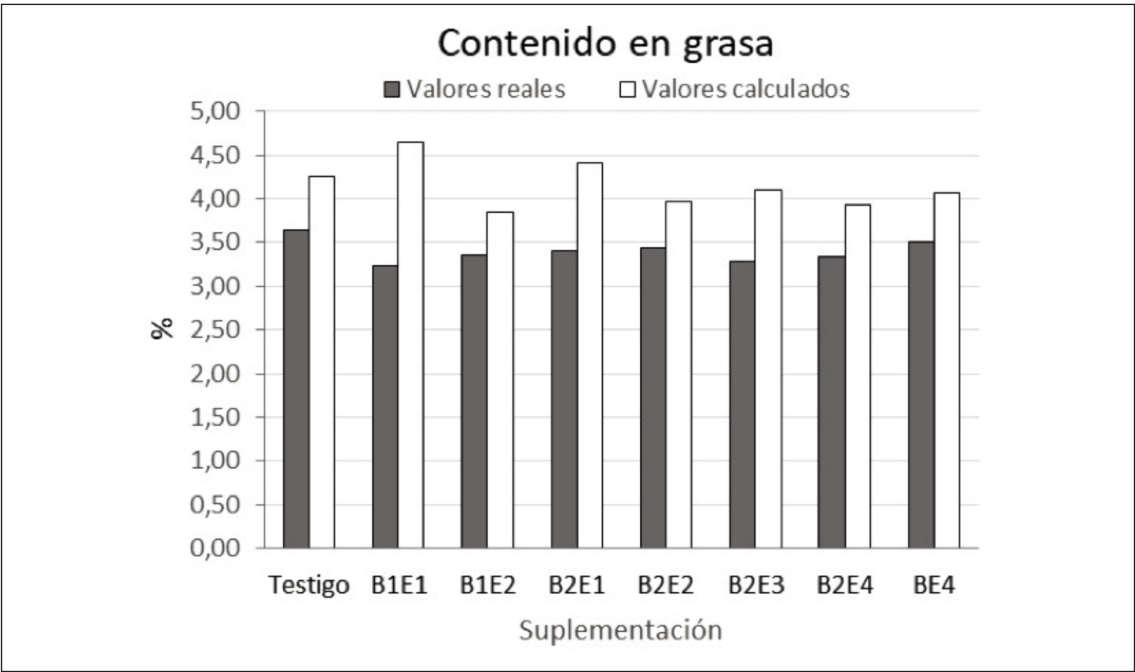
ción completa. Las mayores diferencias se presentan en los lotes testigo, siendo los valores estimados superiores en unos 800 kg/cabeza·año y con la suplementación B2E1 con una diferencia de unos 1.000 kg/cabeza·año superior para los valores reales tomados de las lactaciones completas.

La Figura 2 muestra los valores del contenido en grasa (%) de la leche. Tanto para los lotes testigo, como para las diferentes escalas de suplementación, los valores calculados según la función gamma incompleta resultaron muy superiores a los valores reales, que en el

caso de la suplementación B1E1, llegó a ser superior en más de 1,30 % en valor absoluto.

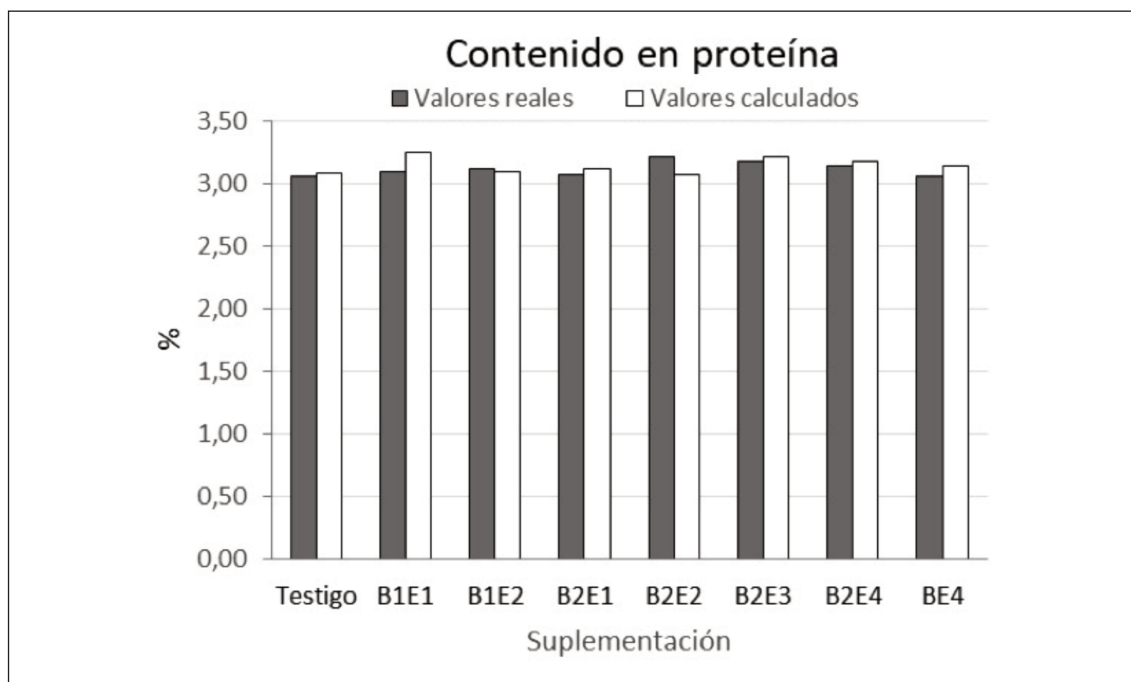
La Figura 3 muestra los valores del contenido en proteína (%) de la leche. Para este parámetro apenas hubo diferencias entre los valores reales y los estimados según la función gamma incompleta.

Las Figuras 4 y 5 presentan los valores de producción total de grasa y proteína de la leche en lactaciones completas, resultando las mismas diferencias que las indicadas para los contenidos en estos parámetros.



B1: 75 % cebada + 25 % harina de pescado + microcorrector. B2: 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector vitamínico mineral. B: Trigo + subproductos + 2,5 % corrector vitamínico mineral. E1 = 9,5-0 kg/día según producción; E2 = 5-0 kg/día según producción; E3 = 2 kg/día durante primavera y 5 kg/día el resto del año; E4 = 5 kg/día constante.

Figura 2. Contenido en grasa (%) de la leche en lactaciones completas *versus* valores calculados según función gamma incompleta (vacas multíparas) y escala de suplementación.
Figure 2. Milk fat content (%) with full lactations *versus* values calculated according to incomplete gamma function (multiparous cows) and scale of supplementation.



B1: 75 % cebada + 25 % harina de pescado + microcorrector. B2: 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector vitamínico mineral. B: Trigo + subproductos + 2,5 % corrector vitamínico mineral. E1 = 9,5-0 kg/día según producción; E2 = 5-0 kg/día según producción; E3 = 2 kg/día durante primavera y 5 kg/día el resto del año; E4 = 5 kg/día constante.

Figura 3. Contenido en proteína (%) de la leche en lactaciones completas versus valores calculados según función gamma incompleta (vacas multíparas) y escala de suplementación.

Figure 3. Milk protein content (%) with full lactations versus values calculated according to incomplete gamma function (multiparous cows) and scale of supplementation.

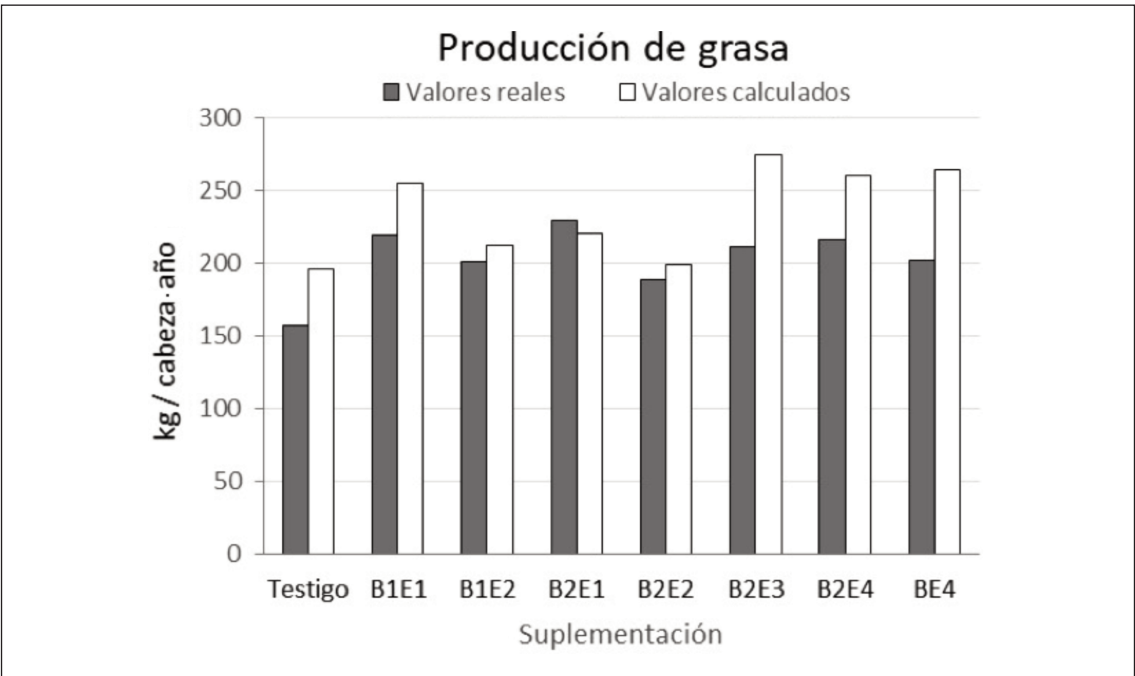
Discusión

Efectos de las escalas de suplementación y de las modalidades de concentrado

Los resultados procedentes de los balances nutricionales y los obtenidos sobre lactaciones completas, ponen de relieve que, la suplementación debe compensar la caída del valor nutritivo de la hierba durante el verano (Martínez-Fernández *et al.*, 2008; de la Roza-Delgado *et al.*, 2022a), a la vez que atender al incremento de las necesidades nutritivas durante la fase creciente de lactación (de la Roza-Delgado *et al.*, 2022b).

En vacas sin suplementación, la menor condición corporal unida a un menor contenido en proteína de la leche, señala una situación de déficit energético (Balch y Argamentería, 1992). Este hecho se apoya en las determinaciones de valor energético de la hierba a lo largo del año ya mencionadas.

La escala de suplementación E1, correspondiente a mayores dosis de concentrado en primavera, logró frenar la pérdida inicial de condición corporal, siendo la única que permitió un promedio anual de condición corporal superior a 2. De hecho, conforme con Chamberlain y Wilkinson (1996) la condición



B1: 75 % cebada + 25 % harina de pescado + microcorrector. B2: 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector vitamínico mineral. B: Trigo + subproductos + 2,5 % corrector vitamínico mineral. E1 = 9,5-0 kg/día según producción; E2 = 5-0 kg/día según producción; E3 = 2 kg/día durante primavera y 5 kg/día el resto del año; E4 = 5 kg/día constante.

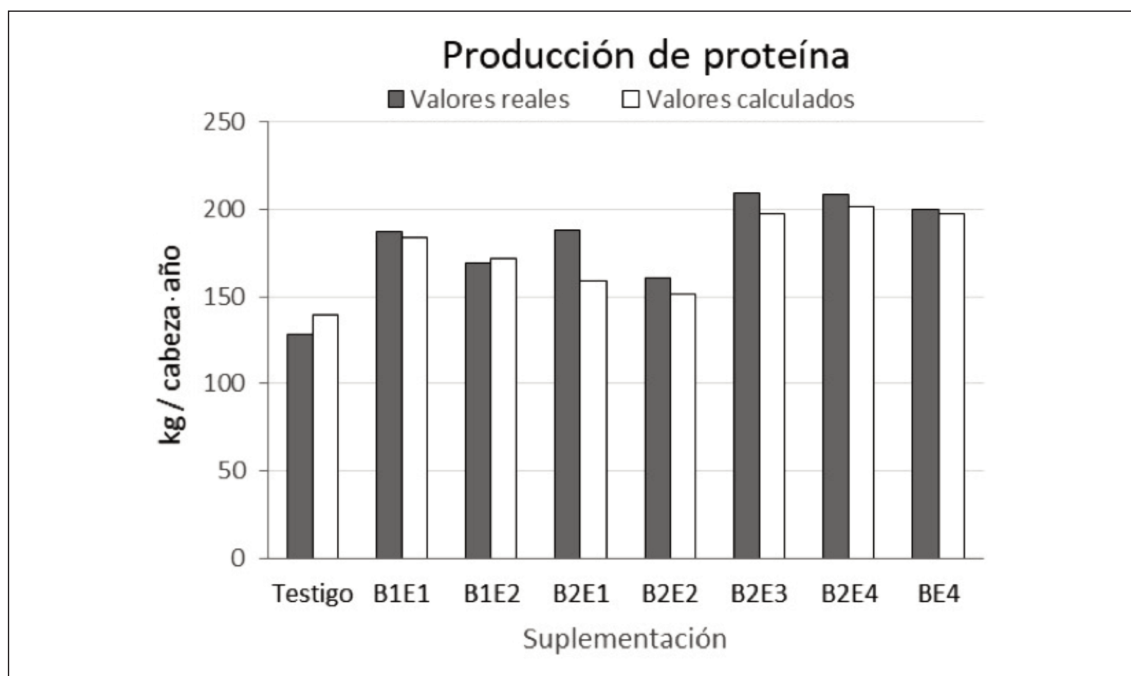
Figura 4. Producción de grasa total de la leche en lactaciones completas versus valores calculados según función gamma incompleta (vacas múltiparas) y escala de suplementación.
Figure 4. Milk fat yield with full lactations versus values calculated according to incomplete gamma function (multiparous cows) and scale of supplementation.

corporal nunca debe descender por debajo de 2,0, aunque otros autores dan un límite aún más estricto, de 2,5 (Heinrichs y Ishler, 2011). Los resultados obtenidos en balances nutricionales (de la Roza-Delgado et al., 2022b), arrojan valores de condición corporal bajos, inferiores a 2.

La escala de suplementación E2, que totaliza la menor cantidad de kg concentrado/cabeza·año, resultó muy insuficiente, en particular para las novillas. En primavera, frenó la pérdida de condición corporal tanto como la E1, pero resultó incapaz de mantener la persistencia de la lactación y contribuyó al sín-

drome de bajo contenido en proteína de la leche durante el verano en Asturias (Balch, 1989).

La escala E3, pretendió observar si una reducción en el aporte de concentrado durante primavera tras el máximo de producción, quedaba compensado por el mayor valor energético de la hierba en dicha época, pero también implicó una subalimentación en la época de lactación. Los valores de condición corporal y de producción de leche no fueron significativamente inferiores con respecto a E4, pero el hecho de que ambas hayan descendido a la vez sugiere que el mayor contenido energético de la hierba de primavera



B1: 75 % cebada + 25 % harina de pescado + microcorrector. B2: 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector vitamínico mineral. B: Trigo + subproductos + 2,5 % corrector vitamínico mineral. E1 = 9,5-0 kg/día según producción; E2 = 5-0 kg/día según producción; E3 = 2 kg/día durante primavera y 5 kg/día el resto del año; E4 = 5 kg/día constante.

Figura 5. Producción de proteína total de la leche en lactaciones completas versus valores calculados según función gamma incompleta (vacas multíparas) y escala de suplementación.

Figure 5. Milk protein yield with full lactations versus values calculated according to incomplete gamma function (multiparous cows) and scale of supplementation.

no permite reducir tanto la suplementación (Balch y Argamentería, 1992).

La escala E4 dio origen a la mayor producción de leche y permitió llegar a un máximo absoluto de 7.233 kg leche/vaca multípara-año con el 3,23 % de grasa y 3,24 % de proteína. Durante primavera, las escalas E2 y E4 fueron idénticas, pero, en verano y otoño la E4 es superior. De ahí la respuesta observada en producción.

La influencia de la naturaleza del concentrado fue menor que la de la escala de suplementación. Este hecho, en general, concuerda

con Sayers et al. (2003). Pero, aun así, hay dos hechos a destacar. El primero, que la mayor producción de leche y condición corporal media con el concentrado B1 debe imputarse a que, según los resultados de balances nutricionales sintetizados en Tabla 5 (de la Roza-Delgado et al., 2020b), era el de mayor contenido energético y, en consecuencia, a igualdad de escala generaba un mayor nivel de alimentación. Pero, a costa de un bajo contenido en grasa de la leche, que también acontece con el concentrado B2. En efecto, es conocida desde hace mucho tiempo la depresión del contenido en grasa de la leche por efecto del almidón

(Balch et al., 1955). Los concentrados B1 y B2, son esencialmente amiláceos.

El segundo, es el mayor contenido y producción de grasa láctea obtenidos con el concentrado B (3,87 %, 215 g/día), ya no concuerda con las observaciones de Sayers et al. (2003), antes citados. El que además, el elevado contenido en grasa se haya conseguido no sólo sin afectar negativamente al contenido y producción de proteína, sino incluso mejorando la utilización del nitrógeno ingerido (de la Roza-Delgado et al., 2020b), constituye un hecho de interés para la finalidad que se persigue con estos trabajos, que consiste en optimizar la suplementación para la producción de leche en pastoreo.

De acuerdo con Flores-Calvete et al. (2022) el porcentaje promedio en grasa de la leche bovina del último quinquenio en Asturias fue de 3,76 %, sólo inferior a Galicia; acorde con el obtenido con el concentrado B en el presente trabajo. No obstante, es bien conocido que el perfil graso de la leche está fuertemente influido por el sistema de producción.

Los otros dos concentrados B1 y B2, generaron valores muy bajos de grasa, sobre todo cuando se les aplicó la escala de suplementación E1.

A pesar de todo, no hay que olvidar que todos estos resultados han sido obtenidos con rebaños de vacas en pastoreo. Actualmente, se valora un elevado contenido en grasa de la leche obtenida en pastoreo, ya que dicho sistema de producción da origen a un perfil lipídico más saludable. De hecho, en los últimos años los trabajos científicos apuntan que la leche producida en las explotaciones que incluyen el régimen de pastoreo, muestran valores más altos de los ácidos grasos (AG) vaccénico, alfa-linolénico (C18:3n3, cabeza de la serie Omega-3) y ácido linoleico conjugado (CLA) total en comparación con los grupos de animales no alimentados con hierba fresca, mientras que, inversamente, el valor

del AG linoleico (C18:2cn6, cabeza de la serie Omega-6) es más bajo en las explotaciones de pastoreo en comparación con los restantes grupos. Además, la relación Omega-6/Omega-3 de la leche de las vacas que pastorean es significativamente más baja comparada con la de las que no pastorean (Morales-Almaráz et al., 2011 y 2018; Hernández-Ortega et al., 2014; Flores-Calvete et al., 2022).

Las mayores diferencias entre vacas y novillas para producción de leche, de grasa y de proteína, se dan para la suplementación B2E2, que es precisamente la que proporciona el menor aporte energético suplementario. Las menores diferencias, tienen lugar para B1E1 y BE4. La suplementación B1E1 es la que suministra mayor cantidad de proteína no degradable digestible y la BE4 la que genera el mejor aprovechamiento del nitrógeno ingerido. Todo apunta en el sentido de que es preciso prestar especial atención a las necesidades nitrogenadas de las novillas de primer parto (NRC, 2001).

En síntesis, los resultados obtenidos parecen indicar que la mejor solución sería reunir el nivel energético del concentrado B1 con el contenido proteico y en fibra digestible del B. Para novillas de primer parto, por razones de seguridad, convendría utilizar el contenido proteico del B2 y se aplicaría la escala E4.

No obstante, estas últimas consideraciones no serían suficientes, ya que resulta imprescindible controlar la pérdida de condición corporal al inicio de la lactación. Para ello, antes de salir a las praderas, las vacas deberían recibir en estabulación dietas especiales para pre y post parto, elaboradas con ensilado de hierba y otros alimentos, a los que se haya determinado su aporte en valor nutritivo y energético para que las raciones cubran los requerimientos animales (Clark 2001a,b). Es importante reconocer que la composición de los alimentos, su forma física y química, y el efecto que tiene el consumo de materia seca sobre la digestibilidad, afec-

tan el nivel de energía disponible en los alimentos (NRC, 2001). Por tanto, es necesario seguir estrictamente las recomendaciones de alguno de los sistemas de alimentación más utilizados en España (Chamberlain y Wilkinson 1996; NRC, 2001; Nozière et al., 2018) para evitar la pérdida de condición corporal. Sin embargo, con un manejo en régimen de pastoreo resulta muy difícil seguir dichas recomendaciones, teniendo en cuenta que las necesidades están afectadas por la actividad física y otros agentes ambientales como el frío o calor. No obstante, en este tipo de manejo, tras el post parto, las vacas deberían ir saliendo a las superficies disponibles de pradera para iniciar su periodo de pastoreo con suplementación, con el objetivo de tratar de conjugar la producción a bajo coste con los requerimientos nutricionales del ganado de leche para el pre y postparto.

En este trabajo no se pudieron satisfacer todos los requerimientos nutricionales de los animales, hecho que motivó un valor de condición corporal demasiado bajo a lo largo de todo el año (de Roza-Delgado et al., 2020b). En verano, la grave pérdida de valor nutritivo de la hierba no pudo ser compensada por ninguna de las modalidades de suplementación y se interrumpió la recuperación de peso vivo que había tenido lugar durante primavera, hasta reiniciarse de nuevo en otoño. Esa necesidad de destinar nutrientes a recuperación de condición corporal, interfirió con las respuestas en producción de leche.

Sin embargo, sí se observa cómo el aporte de concentrado se traduce en mayor producción de leche, aunque con menor contenido en grasa, y eleva el contenido en proteína, incrementando la producción total anual de ambos componentes. Todo ello concuerda con múltiples trabajos realizados, que han sido recogidos en las revisiones de Bargo (2003) y de Hills et al. (2015). La respuesta positiva que se produjo en producción de leche ya era esperable, en función de los resultados ob-

tenidos en los trabajos previos de dela Roza-Delgado et al. (2022a, 2022b y 2023). Además, es de señalar que, las respuestas en kg leche/kg MS concentrado (1,82 según balances nutricionales y 1,55 según lactaciones completas), resultan coincidentes con las producciones más elevadas según bibliografía, de acuerdo a las revisiones de Bargo (2003) y de Hills et al. (2015).

En cuanto al deseado efecto de incrementar el contenido en proteína de la leche, el contraste general entre suplementación Sí vs. No, revela respuesta positiva altamente significativa. Los balances nutricionales dejan entrever un efecto positivo de la escala E1, pero no resulta significativo. En este sentido, los ensayos de lactaciones completas dieron una significación $p = 0,100$ a favor de la escala E1. Esta repetibilidad de los hechos sugiere que hubo realmente una elevación del contenido en proteína de la leche inducida por la suplementación.

En síntesis, los resultados obtenidos parecen indicar que la mejor solución sería reunir el nivel energético del concentrado B1 con el contenido proteico y en fibra digestible del B.

Predicciones de los resultados de lactaciones completas a partir de los resultados obtenidos en los balances nutricionales

La concordancia entre las predicciones de producción y calidad fisicoquímica de la leche según función gamma incompleta y los resultados realmente obtenidos, se considera aceptable, excepto para producción de leche sin suplementación (infravalorada), y, sobre todo, para contenido en grasa en general (muy sobrevalorado). En este sentido, debe tenerse en cuenta lo expuesto acerca de las reservas corporales sin suplementación y los efectos no explicables de la suplementación B1E1, que suministra mayor cantidad de proteína no degradable digestible.

No se logró predecir la disminución del contenido en grasa imputable a los concentrados B1 y B2 e incluso, se llegó a estimar incremento con la suplementación B1E1, lo cual resulta contradictorio. Es preciso tener en cuenta que dichos modelos, basados en experiencias puntuales, no pueden recoger la incidencia de efectos multifactoriales que intervienen en el cómputo de lactaciones completas.

Tampoco se puede pretender que los resultados de balances nutricionales hayan podido recoger la necesidad de destinar nutrientes a recuperación de condición corporal, lo cual interfirió con las respuestas en producción de leche.

Conclusiones

La producción de leche en base a sólo forraje que permiten las praderas de la zona costera del Norte de España (Arco Atlántico) aunque menor que la obtenida en estabulaciones permanentes, es elevada, pero su aporte nutritivo resulta insuficiente ante el potencial genético del ganado frisón actual. Asimismo, el contenido en proteína de la leche obtenida mediante régimen de solo pastoreo, resulta bajo con relación a la actual demanda del sector. En cuanto al contenido de grasa presenta unos valores intermedios. Sin embargo, existe una marcada estacionalidad en la concentración de grasa y proteína en la leche, con valores notablemente inferiores en el periodo primavera-verano.

La respuesta ante la suplementación con concentrado resultó elevada, lo que se traduce en mayor producción de leche, incrementando la producción total anual de grasa y proteína. Durante fase creciente de lactación en primavera, la recomendación sería de 9,5 kg concentrado/vaca·día.

Tras el máximo de producción, a lo largo del resto de primavera, verano y otoño, 5 kg concentrado/vaca·día.

El concentrado debe contener, por kg de materia seca, un mínimo de 12,7 MJ de energía metabolizable a nivel de mantenimiento, o de 1,17 unidades forrajeras leche, o de 1,90 Mcal de energía neta de lactación.

En cuanto a nivel de proteína bruta del concentrado, resultó suficiente un 15 % sobre materia seca

Para evitar la reducción en el contenido en grasa de la leche, el contenido en fibra neutro detergente del concentrado no debe ser inferior al 28 % sobre materia seca y debe incluir materias primas que sean fuente de fibra de alta digestibilidad.

Cuando resulte necesario acudir al ensilado, por falta de pasto, es necesario realizar un análisis previo del mismo y solicitar recomendaciones nutricionales que complementen el aporte nutritivo del mismo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al INIA la financiación de los proyectos 7582, 9043, 9626-C3-2 y SC95-0-022, que permitieron la realización de gran parte de los trabajos experimentales recogidos en la presente publicación. Además, agradecen a la Universidad de Córdoba el interés demostrado en los datos obtenidos, que fueron incluidos en su Servicio de Información sobre Alimentos (SIA).

A Alfonso Carballal Samalea, la labor informática que llevó a cabo. Y, a José Bodelo Parceró, a María Antonia Cueto Ardavín, y, a todo el personal de campo de la Unidad de Producción de Leche y al del Laboratorio de Nutrición Animal, la ejecución de las labores agroganaderas, de funcionamiento de la nave metabólica y de análisis de muestras.

Referencias bibliográficas

- Balch C.C., Balch D.A., Bartlett S., Bartrum M.P., Johnson V.W., Rowland S.J., Turner J. (1955). Studies of the secretion of milk of low fat content by cows on diets low in hay and high in concentrates: VI. The effect on the physical and biochemical processes of the reticulo-rumen. *Journal of Dairy Research* 22: 270-289. <http://doi.org/10.1017/S0022029900007810>
- Balch C.C. (1989). Contenido en proteínas de la leche de vacuno en Asturias. Información Técnica 5/89. Principado de Asturias. Consejería de Agricultura y Pesca. 12 pp.
- Balch C.C., Argamentería A. (1992). A note on the potential conjoint use of body condition score and milk protein concentrations as an index of dietary adequacy in lactating dairy cows. *Animal Production* 55: 437-439. <https://doi.org/10.1017/S0003356100021140>
- Bargo F. (2003). Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo 2ª Jornada Abierta de Lechería: "Alimentación y tipo de vaca en sistemas de base pastoril", Cátedra de Producción Lechera, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 1 de octubre de 2022, Buenos Aires, Argentina.
- Chamberlain A.T., Wilkinson J.M. (1996). Feeding the cow before and after calving. En: *Feeding the Dairy Cow*, pp. 213-224. Chalcombe Publications, Painshall, Church Lane, Welton, Lincoln, LN2, 3LT, United Kingdom.
- Clark J. (2001a). Growth. En: *Nutrient Requirements of Dairy Cattle 7 th rev. edition* (Ed. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine), pp. 234-243. Washington, DC, National Academy Press. USA.
- Clark J. (2001b). Unique aspects of dairy cattle nutrition. En: *Nutrient Requirements of Dairy Cattle 7 th rev. Edition* (Ed. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine), pp. 184-213. Washington, DC, National Academy Press. USA.
- De La Torre-Santos S., Royo L.J., Martínez-Fernández A., Menéndez-Miranda M., Rosa-García R., Vicente F. (2021). Influence of the type of silage in the dairy cow ration, with or without grazing, on the fatty acid and antioxidant profiles of milk. *Dairy* 2(4): 716-728. <https://doi.org/10.3390/dairy2040055>
- Flores G., Resch C., Fernández-Lorenzo B., González-Arráez A., Valladares J., Dagnac T., Latorre A., Agruñá M.J., Pereira S., Díaz N., Giménez R., Rodríguez-Diz X. (2011). Efecto del pastoreo de verano de trébol violeta sobre el contenido en omega-3 de la leche de vacuno. *Pastos* 41 (1): 79-99.
- Flores-Calvete G., Botana-Fernández A., Resch-Zafra C., Lorenzana-Fernández R. (2022). Sistemas de producción y calidad de la leche de vaca en España. En: *El sector lácteo en España* (Ed. López Iglesias E., Laínez Andrés M.), pp. 299-318. Ed. Cajamar Caja Rural, España.
- Heinrichs A.V., Ishler V.A. (2011). Body condition scoring as a tool for dairy herd management, extension circular 363. En: *Proceeding Manual for Body Condition Scoring* (Ed. Jones C. y Heinrichs J.), pp. 1-14. Department of Dairy and Animal Sciences Pennsylvania State University, University Park.
- García-Paloma J.A. (1990). El método de la condición corporal en vacuno lechero: propuesta de una metodología unificadora. *Investigación Agraria Producción y Sanidad Animales* 5(3): 121-130.
- Hernández-Ortega M., Martínez-Fernández A., Soldado A., González A., Arriaga-Jordán C.A., Argamentería A., de la Roza-Delgado B., Vicente F. (2014). Effect of total mixed ration composition and daily grazing pattern on milk production, composition and fatty acids profile of dairy cows. *Journal of Dairy Research* 81: 471-478. <https://doi.org/10.1017/S0022029914000399>
- Hills J.L., Wales W.J., Dunshea F.R., García S.C., Roche J.R. (2015). Invited review: An evaluation of the likely effects of individualized feeding of concentrate supplements to pasture-based dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98: 1363-1401. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8475>
- Lamberson W.R. (2016). Letter to the editor: A response to Robinson. *Journal of Dairy Science* 99: 2437-2437. <http://doi.org/10.3168/jds.2016-10915>

- Martínez-Fernández A., de la Roza-Delgado B., Modroño S., Argamentería A. (2008). Producción y contenido en principios nutritivos de prados, praderas y de la rotación raigrás italiano-maíz en la rasa marítima centro-oriental de Asturias. *Pastos* 38(2): 187-224.
- Morales-Almaráz E., de la Roza-Delgado B., González A., Soldado A., Rodríguez M.L., Peláez M., Vicente F. (2011). Effect of feeding system on unsaturated fatty acid level in milk of dairy cow. *Renewable Agriculture and Food Systems* 26(3): 224-229. <http://doi.org/10.1017/S1742170511000019>
- Morales-Almaráz E., de la Roza-Delgado B., Soldado A., Martínez-Fernández A., González A., Domínguez-Vara I., Vicente F. (2018). Parity and grazing-time effects on milk fatty acid profile in dairy cows. *Animal Production Science* 58(7): 1175-1191. <http://doi.org/10.1071/AN15755>
- National Research Council (NRC) (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle Seventh Revised Edition*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Nozière P., Sauvant D., Delaby L. (2018). *Alimentation des ruminants*. Inra 2018. Ed. Quae, Versailles, France. 640 pp. <http://doi.org/10.3920/978-90-8686-292-4>
- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org/> (abril 2023)
- Robinson P.H. (2016). Letter to editor: Comments on Journal Dairy Science statistical unit policy as it relates to pen-based animal studies. *Journal of Dairy Science* 99: 2435-2436. <http://doi.org/10.3168/jds.2015-10712>.
- de la Roza-Delgado B., Argamentería A., Martínez-Fernández A. (2007). Ingestión voluntaria y digestibilidad de forraje verde de raigrás inglés, raigrás híbrido y trébol blanco ensilado bajo forma de rotopacas o en silos horizontales. *Pastos* 37 (2): 203-227.
- de la Roza-Delgado B., Martínez-Fernández A., Modroño M.S., Argamentería A. (2022a). Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en Asturias. I. Evolución de la composición química y de la digestibilidad *in vivo* sobre vacas frisonas a lo largo del año. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 118(1): 48-68. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.013>
- de la Roza-Delgado B., Martínez-Fernández A., Modroño M.S., Argamentería A. (2022b). Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en Asturias. II. Balances nutricionales sobre vacas frisonas en producción a lo largo del año. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 118(4): 530-546. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.039>
- de la Roza-Delgado B., Martínez-Fernández A., Modroño M.S., Argamentería A., (2023). Pradera de raigrás inglés-trébol blanco (*Lolium perenne-Trifolium repens*) en Asturias. III. Ingestión y valor lastre en vacuno lechero. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*. 119(4): 357-369. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.009>
- Sayers H.J., Mayne C.S., Bartram C.J. (2003). The effect of level and type of supplement offered to grazing dairy cows on herbage intake, animal performance and rumen fermentation characteristics. *Animal Science* 76: 439-454. <http://doi.org/10.1017/S1357729800058653>
- Wilcox R.R. (2017). *Introduction to Robust Estimation & Hypothesis Testing*. 4th edition. Elsevier. Amsterdam. The Netherlands. 608 pp
- Wood P.D.P. (1976). Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production, with estimates of seasonal variation. *Animal Production* 22: 35-40. <https://doi.org/10.1017/S000335610003539X>
- Vázquez Yáñez O.P., González Rodríguez A., López Díaz J.E. (2005). Descripción de la evolución de la altura y producción de una pradera durante el pastoreo de primavera con vacas de leche. En: *Producciones agroganaderas: gestión eficiente y conservación del medio natural* (Ed. Osoro K., Argamentería A., Larraceleta A.), pp. 191-198. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA), Asturias, España.

(Aceptado para publicación el 26 de agosto de 2024)