

Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en Asturias. II. Balances nutricionales sobre vacas frisonas en producción a lo largo del año

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

La pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* es utilizada para producción de leche en zonas templado-húmedas. Su valor nutritivo depende de su composición química, ingestibilidad y utilización digestiva y metabólica. En la costa centro-oriental de Asturias, se dispone de datos sobre evolución de su composición y digestibilidad. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la utilización de la energía y nitrógeno ingeridos. Los objetivos específicos evaluaron a lo largo del año, por un periodo de 12 años, la evolución de las unidades de valoración energética, de las pérdidas urinarias de nitrógeno y su recuperación en leche, con forraje como dieta única o suplementado con diferentes escalas y modalidades de concentrado. Durante primavera, la energía metabolizable a nivel de mantenimiento (MJ), las unidades forrajeras leche según INRA 2018 y la energía neta de lactación a nivel de alimentación 3 (Mcal), por kg de materia seca (MS), oscilaron respectivamente entre 11,1-11,7; 0,93-1,01 y 1,31-1,49. En verano, se redujeron a 10,2-8,9; 0,87-0,69 y 1,18-0,84. En otoño, se recuperaron progresivamente los valores de primavera. Los ensilados de hierba tuvieron valores similares a los de hierba de verano. La suplementación energética con concentrados elevó la metabolicidad, el nivel de alimentación y la recuperación de energía bruta ingerida en leche. La suplementación nitrogenada, elevó la recuperación de nitrógeno ingerido en leche y con un 15 % de proteína bruta sobre MS se redujo la excreción de nitrógeno al medio ambiente. La pradera evaluada posee elevado potencial para producción de leche respetando las normativas UE.

Palabras clave: Pastoreo rotacional, forrajes, valor nutritivo, concentrados.

Temporary ley of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* in Asturias. II. Nutritional balances on Friesian cows in production throughout the year

Abstract

The temporary ley of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* is widely used for milk production in temperate-humid areas. Its nutritional value depends on its chemical composition, ingestibility and subsequent digestive and metabolic use. On the central eastern coast of Asturias, data are available on the evolution of its chemical composition and digestibility. The general objective of this paper was to obtain information on the use of energy and nitrogen ingested. The specific objectives were to determine,

* Autor para correspondencia: broza@serida.org

throughout the year and for a period of 12 years, the evolution of the energy units, the urinary losses of nitrogen and the recovery of the same in milk, with forage as a single diet or supplemented with different scales and modalities of concentrate. During spring, metabolizable energy at maintenance level (MJ), milk forage units according to INRA 2018 and net lactation energy at feed level 3 (Mcal), per kg of dry matter, ranged respectively between 11.1-11.7; 0.93-1.01 and 1.31-1.49. In summer, they were reduced to 10.2-8.9; 0.87-0.69 and 1.18-0.84. In autumn, spring values gradually recovered. The grass silages had values similar to those of summer grass. Energy supplementation with concentrates significantly elevated metabolicity, feeding level and recovery of raw energy ingested in milk. Nitrogen supplementation significantly increased the recovery of nitrogen ingested in milk and with 15 % crude protein on dry matter, the excretion of nitrogen into the environment was reduced. The evaluated pasture has high potential for milk production in compliance with EU regulations.

Keywords: Rotational grazing, forages, nutritive value, concentrates.

Introducción

En la Cornisa Cantábrica la producción de leche de vacuno en sistemas sostenibles y de reducido impacto medioambiental, que se concentran en la raza marítima y en las altiplanicies de la zona central, se basan en la utilización de pastos y forrajes verdes y ensilados, por ello resulta imprescindible la determinación del valor nutritivo de las praderas, ya que comparte con el resto de zonas húmedas del Norte de España una acentuada vocación pascícola y forrajera (Martínez-Fernández et al., 2008). Un primer trabajo y como paso previo a este, lo constituyó la determinación de la digestibilidad *in vivo* sobre vacuno lechero (de la Roza-Delgado et al., 2021) de las praderas de *Lolium perenne-Trifolium repens* de la Unidad de Producción de Leche del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA) del Principado de Asturias (zona costera centro-oriental, dentro del arco atlántico).

En cuanto a los sistemas de alimentación, los más usuales en España para vacuno lechero son el del AFRC (Chamberlain y Wilkinson, 1996a), el Systali del INRA (Nozière et al., 2018) y el del NRC (2001). Requieren disponer ante todo de los datos de las respectivas unidades de valoración energética: energía metabolizable a nivel de mantenimiento, unidades fo-

rrajeras leche y energía neta de lactación a nivel de alimentación 3. En lo concerniente a la alimentación nitrogenada, no es suficiente disponer de datos de nitrógeno ingerido, sino también de su utilización posterior.

El primer objetivo de este trabajo fue determinar la evolución del valor energético del forraje de la mencionada pradera por meses del año, así como el de los ensilados de primero y segundo cortes, según los sistemas de alimentación antes enumerados. El segundo, consistió en cuantificar las pérdidas urinarias de nitrógeno ingerido y la recuperación del mismo en leche. El tercero, caracterizar la influencia de la suplementación con diferentes dosis y modalidades de concentrado sobre los balances en energía y nitrógeno.

Material y métodos

Finca experimental, rebaño, manejo e instalaciones

Se utilizó una finca experimental del SERIDA (43° 28' 50" N, 5° 26' 27" W, 10 m s. n. m.) y un rebaño de 60 vacas de raza Holstein Friesian. El manejo de las parcelas y el rebaño se llevó a cabo de acuerdo a la descripción reflejada en el trabajo previo de la Roza-Delgado et al. (2021).

Diseño experimental

Durante doce años sucesivos, se efectuaron cuatro-seis controles anuales de ingestión total diaria de materia seca y la excreción de heces, orina y leche en vacas frisonas, procedentes de un rebaño que aprovechaba parcelas de pradera de *Lolium perenne-Trifolium repens*, en pastoreo o como forraje ensilado, en base a sólo forraje o con suplementación. Cada control incluía 14 días de adaptación y siete experimentales. Todos los detalles relativos a metodología, composición botánica de los forrajes, composición en materias primas de los concentrados, escalas de suplementación para los mismos, composición química y digestibilidad *in vivo* de los principios nutritivos de forrajes y concentrados, pueden ser consultados en un artículo previo (de la Roza-Delgado et al., 2021). Además de la toma de muestras y analítica que exige un ensayo de digestibilidad, se recogió orina dos veces al día, después de cada ordeño, dentro de un recipiente tarado con 250 ml de H₂SO₄ 5 M. Una alícuota del 1 % se fue acumulando en frascos de vidrio con tapón roscado a -30 °C. Otras dos alícuotas diarias del 10 % de rechazos y heces, fueron recolectadas respectivamente en bolsas de plástico y se mantuvieron a -30 °C hasta su liofilización. En cada ordeño, se tomaron muestras del 1 % en peso del total de leche obtenida, que se acumularon por duplicado en recipientes de vidrio de cabeza roscada con dicromato potásico como conservante y se mantuvieron refrigerados a 3-5 °C hasta su análisis.

El peso vivo de cada vaca (promedio de dos días sucesivos tras el ordeño de la mañana) y su condición corporal (escala de 1 a 5; Mulvany, 1981; García-Paloma, 1990), se determinaron al comienzo del periodo pre-experimental y al final del periodo experimental.

Estimación de las pérdidas energéticas bajo forma de gases y de calor

Las pérdidas de energía bajo forma de metano procedente de la fermentación ruminal, para calcular la energía metabolizable, fueron estimadas y no medidas. Es poco preciso, de acuerdo con el Agricultural Development and Advisory Service (ADAS, 1989) y el INRA (Sauvant et al., 2018a). Pero, como los valores no son cuantitativamente elevados, no contribuyen a errores graves en los cálculos finales.

Las pérdidas de calor desprendido al medio ambiente también se estimaron según la bibliografía existente, incluida en los dos sistemas de alimentación que evalúan en términos de energía neta de lactación (NRC, 2001; Sauvant et al., 2018a,c).

Variables dependientes finales

Los parámetros determinados en cada ensayo fueron los siguientes:

- Peso vivo (kg) y condición corporal medios.
- Ingestión de energía bruta (EBi; MJ/día).
- Energía excretada en orina y recuperada en leche (% EBi).
- Contenido en energía digestible (ED; MJ/kg MS) e ingestión de energía digestible (EDI; MJ/día).
- Nivel de alimentación estimado como $L = EDi/ED$ para mantenimiento. Se tomó ED para mantenimiento (MJ/día) = $0,5 \times \text{Peso vivo medio}^{0,75} / 0,81$. (ARC, 1980).
- Energía metabolizable (EM; MJ/kg MS) e ingestión de energía metabolizable (EMi; MJ/día). Para su cálculo, las pérdidas energéticas bajo forma de gases (% EBi) fueron estimadas en función de la digestibilidad de la energía bruta (DEB) y de L como $EBg = 1,3 + 0,112 \times (DEB + 10,7 \times (L - 1)) / (1 + 0,113 \times (L - 1)) + L \times [2,37 - 0,05 \times (DEB + 10,7 \times (L - 1)) / (1 + 0,113 \times (L - 1))]$, según deducción a partir de Blaxter y Clapperton (1965).

- Los valores de energía digestible se refirieron a nivel de alimentación 1, según Blaxter (1969), mediante la expresión:

$$y = (x + 10,7 \times (L - 1)) / (1 + 0,113 \times (L - 1)), \text{ donde:}$$

y = Valor calculado para nivel de alimentación igual a 1

x = Valor obtenido con el nivel de alimentación real (L) durante el ensayo

- Metabolicidad de la energía $q = EM_i/EB_i$.
- Relación EM_i/ED_i .
- Valor D, como relación entre EM_{1x} y contenido en materia orgánica digestible a nivel de mantenimiento en g/kg MS.
- Ingestión de nitrógeno (N_i ; g/día).
- Nitrógeno excretado en orina y leche (N_o , N_l ; g/día).
- Balance en proteína en el rumen (BPR; g/kg MS), estimado en función del contenido en proteína bruta de la ración total (PB; g/kg MS) como $BPR = -84,5 + 0,61 \times PB$, según Sauvante *et al.* (2018b).
- Producción de leche (kg/día) y su calidad fisicoquímica (% de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos).

Análisis químicos

Las muestras liofilizadas de ofertas de forrajes, rechazos y heces y concentrados fueron molidas a 0,75 mm y analizadas según se describe en de la Roza-Delgado *et al.* (2021). En las muestras de leche y orina, se determinó la densidad, el nitrógeno Kjeldahl y la energía bruta, después de liofilización en bolsas de polietileno con calor de combustión conocido, mediante bomba calorimétrica IKA®-WERKE C 5000 C (IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Germany). Previamente a la liofilización, las muestras de orina se neutralizaron con NaOH y las de leche se homogenizaron a 40 °C en un agitador magnético. Los componentes de la leche se determinaron por reflectancia en el infra-

rojo medio (2500 - 4×10^4 nm, equipo Milkoscan™ FT 6000 de Foss, Dimamarca), en el Laboratorio Interprofesional Lechero de Asturias (LILA, acreditación nº 246/LE 476), sobre muestras refrigeradas con adición de dicromato potásico conservante). Adicionalmente, el contenido en proteína de esas mismas muestras de leche fue también calculado como nitrógeno Kjeldahl $\times 6,38$ (equipo Kjeltec Auto de Foss Tecator, Suecia).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se efectuaron mediante la aplicación informática R de libre acceso (R Core Team, 2013). Como paso previo, se comprobó el ajuste a una distribución normal de todas las variables consideradas, mediante el test de Shapiro-Wilks. También se comprobó la homogeneidad de varianzas mediante el test de Bartlett, para las variables analizadas y para los residuos de ajuste a modelo lineal. Ante la frecuente falta de homocedasticidad, muchas veces altamente significativa, se acudió a la estadística robusta (WRS2; Mair y Wilcox, 2018).

El diseño original incluía:

- Diez categorías del factor de efecto fijo “forraje”: forraje verde de marzo, de abril, de mayo, de primera quincena de junio, de segunda quincena de junio y julio, de agosto, de octubre, de noviembre, ensilado horizontal de primer corte y ensilado de rotopacas de segundo corte.
- Tres del factor de efecto fijo “Tipo de concentrado (TipoConc): B1, B2, B”.
- Covariable dosis de concentrado (I_c ; kg MS/vaca-día). Para vacas testigo sin concentrado, $I_c = 0$.
- Año como factor de efecto aleatorio.

Pero, la estadística robusta no permite todas las posibilidades de la paramétrica. Exigió las siguientes simplificaciones expuestas a continuación.

- Por no contemplar el uso de factores de efecto aleatorio, el año se dejó incluido en el error.
- La interacción efecto fijo × covariable, sólo permite dos categorías del primero. Se consideró, como mejor solución, sustituir la covariable Ic por una cuarta categoría TipoConc = No, y, a continuación, sintetizar las diez categorías del factor forraje y las cuatro del factor TipoConc en $10 \times 4 = 40$ categorías de un único factor de efecto fijo "ForTipoConc".

Para algunos parámetros, fue preciso aceptar otras limitaciones adicionales impuestas por el manejo rutinario de la explotación.

Para contrastar las características de peso y condición corporal de las vacas, así como la producción y composición de la leche, es preciso tener muy en cuenta que, la agrupación de partos a la salida del invierno, condiciona la fase creciente de lactación al período de hierba de marzo a junio¹, lactación media a hierba de junio² y de agosto, y, lactación tardía a hierba de octubre y noviembre o ensilado de hierba. Se delimitaron así cuatro épocas: primavera, verano, otoño y ensilado, considerando cada una como experiencia independiente. También fue necesario proceder de forma similar con los cuatro TipoConc. Resultó imposible que todos pudiesen intervenir en cada balance, ya que el número máximo de animales por ensayo fue de seis. Por tanto, se sintetizaron en sólo dos categorías: "No" para dieta única de forraje y "Si" para forraje más concentrado.

Se determinó el efecto de la suplementación (No o Si) sobre las variables peso, condición corporal y producción y calidad de la leche, por separado para cada una de las cuatro épocas. Para ello, se calcularon las medias recortadas 20 % y se siguió un modelo de análisis de varianza robusto t1way con contraste inmediato.

Para los parámetros indicadores del balance en energía y nitrógeno, se consideró el factor de efecto fijo ForTipoConc, antes definido, dentro de un análisis de varianza robusto t1way sobre las medias recortadas al 20 %, seguido de los posteriores contrastes lineales entre las mismas (función lincon), en caso de F significativa ($p \leq 0,05$). Para TipoConc = No, se obtienen los resultados de las diez categorías de forraje como dieta única. Para TipoConc = B1, B2, B, se obtienen los resultados de las respectivas raciones totales. Dado que se conoce la proporción de la energía bruta ingerida que procede del concentrado, se puede calcular el contenido energético del mismo.

Todo el proceso anterior se basó en la utilización de efectos fijos. Para determinar la influencia de la dosis de concentrado sobre los balances en energía y nitrógeno, fue preciso acudir a los métodos de correlación y regresión robustas, empleando el paquete estadístico MASS.

El primer paso consistió en obtener la matriz de coeficientes de correlación robustos entre la totalidad de las variables dependientes, así como sus respectivos niveles de significación, mediante el procedimiento pball.

A continuación, de forma individual para TipoConc = No más B1 en conjunto, No más B2 en conjunto y No más B en conjunto, se obtuvieron las respectivas ecuaciones de regresión robusta mediante máxima verosimilitud restringida (procedimiento rlm), así como los correspondientes coeficientes de correlación robustos y su nivel de significación (procedimiento pbcor).

El procedimiento pbcor se empleó asimismo para confirmar la concordancia entre valores de energía bruta y proteína de la leche por vía húmeda y según reflectancia en el infrarrojo medio.

Resultados

Peso vivo, condición corporal, producción y calidad fisicoquímica de la leche

La Tabla 1 presenta el estado de lactación, características de las vacas, producción de leche y composición de la misma, según época del año y suplementación. La suplementación mejoró la condición corporal de los animales en primavera (fase temprana de lactación) e incrementó siempre la producción de leche, reduciendo el porcentaje de grasa excepto durante el periodo de alimentación con ensilado. No se observó incremento en el contenido en proteína. En cuanto a lactosa y sólidos no grasos, no hubo un comportamiento uniforme.

El coeficiente de correlación robusto entre energía bruta de la leche y su contenido en grasa, fue de $+0,74$ ($p < 0,001$) y entre proteína MilkoScan y N Kjeldahl por vía húmeda, alcanzó $+0,95$ ($p < 0,001$), valores que aportan seguridad en los resultados obtenidos.

Pérdidas de energía bruta ingerida bajo forma de gases y de orina

Las pérdidas de EBi bajo forma de gases y de orina, supusieron respectivamente el $7,6 \pm 0,09$ % y el $3,9 \pm 0,10$ %. En total, alcanzaron $11,5 \pm 0,12$ % (medias recortadas 20 % \pm error estándar).

La regresión entre las estimaciones de pérdidas energéticas bajo forma de gases según ADAS (1989) (EBgARC) y según Sauvant et al. (2018a) (EBgSystali), resultó significativa, pero débil: $EBgARC = 7,0 + 0,14EBgSystali$; 7 iteraciones; $pbcor = +0,19$, $p < 0,01$; escala estimada = 0,571.

Respecto a las pérdidas urinarias, la regresión robusta entre los valores obtenidos experimentalmente (EBo) y las estimaciones según Sauvant et al. (2018a) (EBoSystali), presentó

una significación mayor: $EBo = -1,36 + 1,12EBoSystali$; 4 iteraciones; $pbcor = +0,49$, $p < 0,001$; escala estimada = 1,32.

En cuanto a la matriz de coeficientes de correlación robustos entre EBo y los parámetros considerados por Systali, reveló valor negativo no significativo con ingestión de materia seca en % PV, de $+0,47$ ($p < 0,001$) con PB, y de $+0,14$ ($p < 0,05$) con proporción de concentrado en la ración. Con PB, la ecuación de regresión fue $EBo = -0,04 + 0,21PB$; 4 iteraciones; escala estimada = 1,27. Se debe señalar que, el coeficiente de correlación robusto entre ingestión total y proporción de concentrado en la ración, resultó $+0,38$ ($p < 0,001$).

Entre pérdidas totales de gases y orina estimadas en este trabajo y las estimaciones según Systali, la ecuación de regresión robusta fue $EBgo = 8,4 + 0,27EBgoSystali$. La relación entre EBgo y las pérdidas energéticas fecales (EBf) fue $EBgo = 14,7 - 0,11EBf_i$. Ambas regresiones presentan resultados comunes: 4 iteraciones; $pbcor = -0,41$, $p < 0,0001$; escala estimada = 1,48.

Balance energético sin suplementación

La Tabla 2 presenta los resultados de las energías (bruta, digestible y metabolizable) ingeridas (EBi, EDi, EMi; MJ/día), nivel de alimentación (L), metabolibilidad de la energía ($q = EMi/EDi$), relación EMi/EDi y % de EBi excretada en leche (EBI_i), según categorías de forraje y sin concentrado suplementario. La energía bruta ingerida presentó valores máximos en primavera, oscilaciones en verano y valores mínimos en otoño. La energía digestible y metabolizable ingeridas, así como el nivel de alimentación, tuvieron una evolución más definida, con un valor máximo muy constante durante primavera y un mínimo en verano y otoño. En cuanto a los ensilados, mostraron valores equiparables a los de la hierba de verano y no difirieron

Tabla 1. Semana de lactación, características de las vacas, producción de leche y composición de la misma, según época del año y suplementación (Medias recortadas 20 % ± error estándar y contrastes).
 Table 1. Average lactation week, characteristics of cows, milk production and their composition, according to time of year and supplementation (20 % trimmed means ± standard error and contrasts).

Época	Suplementación	Características de las vacas					Producción y composición de la leche					
		Slactación	Vpeso (kg/día)	PV (kg)	CC	P leche (kg/día)	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	SNG (%)	EB (MJ/kg)	
Primavera	Si	12±0,9	0,66±0,292	504±8,3	1,63±0,046	21,5±0,70	4,20±0,083	2,87±0,033	4,86±0,030	8,38±0,057	3,08±0,037	
	No	8±0,7	0,49±0,266	527±9,8	1,82±0,048	21,7±0,89	3,88±0,100	2,96±0,030	4,92±0,025	8,51±0,086	2,95±0,044	
	Significación	ns	ns	ns	**	***	**	ns	ns	**	ns	
Verano	Si	21±1,5	-1,52±0,507	500±16,7	1,70±0,077	12,7±0,83	4,11±0,141	2,96±0,073	4,72±0,051	8,36±0,075	2,97±0,079	
	No	22±0,7	-0,79±0,290	547±11,7	1,68±0,046	20,3±0,65	3,88±0,093	2,92±0,042	4,72±0,044	8,36±0,052	2,93±0,041	
	Significación	ns	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	
Otoño	Si	36±0,8	1,26±0,452	512±11,8	1,60±0,062	7,1±0,66	4,76±0,143	3,58±0,098	4,24±0,094	8,59±0,103	3,45±0,075	
	No	36±0,8	1,04±0,819	524±8,3	1,73±0,063	14,1±0,81	4,35±0,164	3,25±0,069	4,76±0,037	8,73±0,076	3,22±0,074	
	Significación	ns	ns	ns	ns	***	*	*	***	ns	*	
Ensilado	Si	23±3,8	-0,58±0,202	560±10,5	1,93±0,075	5,2±1,07	4,02±0,269	3,30±0,108	4,31±0,159	8,35±0,017	3,01±0,114	
	No	32±1,9	0,10±0,526	564±11,4	1,97±0,111	15,5±1,22	4,12±0,125	3,24±0,104	4,67±0,064	8,62±0,092	2,98±0,099	
	Significación	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	ns	

Slactación: Semana de Lactación; Vpeso: Variación de peso; CC: Condición Corporal; Pleche: Producción de leche; PV: Peso Vivo; SNG: Sólidos no grasos; EB: Energía Bruta.

Tabla 2. Energías bruta, digestible y metabolizable ingeridas (EBi, EDi, EMi; MJ/día), nivel de alimentación (L), metabolizabilidad de la energía ($q = \text{EMi}/\text{EDi}$), relación EMi/EDi y % de EBi excretada en leche (EBi_I) según categorías de forraje y sin concentrado suplementario.

Table 2. Gross energy intake, digestible energy intake, metabolizable energy intake (MJ/ cow/ day), feeding level, metabolizability, metabolizable energy: digestible energy ratio and recovery intake energy on milk (%) according to forage categories and without supplementary concentrate.

Forraje	EBi	EDi	EMi	L	q	EMi/EDi	EBi _I
Marzo	252±5,7 ^{ab}	186±5,8 ^b	158±5,1 ^b	2,88±0,101 ^b	0,63±0,018 ^b	0,85±0,007 ^b	29,7±1,51 ^c
Abril	257±9,1 ^{ab}	190±6,8 ^b	160±6,7 ^b	2,84±0,092 ^b	0,62±0,011 ^b	0,84±0,008 ^{ab}	25,9±2,84 ^{bc}
Mayo	256±13,3 ^{ab}	183±10,1 ^b	154±8,8 ^b	2,85±0,112 ^b	0,60±0,021 ^b	0,84±0,005 ^{ab}	22,6±0,71 ^{bc}
Junio1	277±10,9 ^b	191±6,3 ^b	161±4,9 ^b	2,81±0,100 ^b	0,58±0,011 ^b	0,84±0,006 ^{ab}	17,7±0,64 ^b
Junio2	228±12,5 ^{ab}	159±15,2 ^{ab}	134±14,1 ^{ab}	2,28±0,154 ^{ab}	0,58±0,032 ^b	0,83±0,010 ^{ab}	18,3±0,70 ^b
Agosto	252±29,1 ^{ab}	137±15,4 ^a	113±13,0 ^a	2,01±0,193 ^{ab}	0,45±0,009 ^a	0,82±0,004 ^{ab}	8,4±3,90 ^a
Octubre	202±5,0 ^a	141±6,6 ^{ab}	116±5,3 ^{ab}	2,15±0,109 ^{ab}	0,58±0,011 ^b	0,82±0,005 ^{ab}	9,8±1,00 ^a
Noviembre	191±11,6 ^a	140±9,5 ^a	114±8,1 ^a	2,11±0,166 ^{ab}	0,60±0,015 ^b	0,81±0,007 ^a	14,1±1,14 ^{ab}
Ens. Hor.	192±6,5 ^a	124±3,6 ^a	102±3,0 ^a	1,72±0,043 ^a	0,54±0,014 ^b	0,83±0,005 ^{ab}	8,1±2,02 ^a
Ens. Rot.	221±15,6 ^{ab}	144±10,9 ^{ab}	119±8,8 ^{ab}	2,07±0,150 ^{ab}	0,54±0,006 ^b	0,83±0,003 ^{ab}	3,5±1,83 ^a

Forraje: Hierba verde del mes indicado. O bien: Ens. Hor. = Ensilado horizontal de primer corte; Ens. Rot. = Ensilado de rotopacas de segundo corte.

Junio1: Experiencia iniciada entre 1 y 15 de junio. Junio2: Después del 15 de junio.

^{a, b, c}: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p < 0,05$.

significativamente entre sí. La metabolizabilidad varió dentro del intervalo 0,45-0,63 y presentó un mínimo absoluto para la hierba de agosto. La relación EMi/EDi fue muy constante (0,81-0,85), con un mínimo absoluto para la hierba de noviembre. La recuperación de energía bruta ingerida en leche presentó un máximo absoluto en marzo (29,7 %) y mínimos en verano (8,4 % en agosto) y otoño, así como durante el periodo de alimentación con ensilado (8,1 % y 3,5 %, para ensilado horizontal de primer corte y rotopacas de segundo corte, respectivamente).

Efectos de la suplementación sobre el balance energético

Los efectos de la suplementación sobre el balance energético se presentan en la Tabla 3. La ingestión de concentrado no sólo incrementó la de energía bruta, digestible y metabolizable, sino que también elevó la metabolizabilidad, el nivel de alimentación y la recuperación de energía en leche. Los efectos fueron mayores con el concentrado B1, tanto sobre el coeficiente de correlación robusto como sobre el de regresión. Adicionalmente, la relación EMi/EDi, fue mejorada por la ingestión de los concentrados B2 y B, pero no por la del B1.

Tabla 3. Efecto sobre el balance en energía de la dosis de concentrado (lc; kg materia seca/vaca-día) y de la naturaleza del mismo (B1, B2 y B).
Table 3. Effect on the energy balance of the concentrate dose (lc; kg dry matter/cow-day) and the nature of the concentrate (B1, B2 and B).

	Concentrado								
	B1			B2			B		
	pbcor	Regresión robusta	pbcor	Regresión robusta	pbcor	Regresión robusta	pbcor	Regresión robusta	
EBi	0,546**	EBi = 226 + 19,03lc	0,535***	EBi = 222 + 13,9lc	0,447**	EBi = 239 + 9,8lc			
EDi	0,767***	EDi = 165 + 19,4lc	0,515***	EDi = 124 + 10,6lc	0,466**	EDi = 162 + 8,2lc			
EMi	0,750***	EMi = 138 + 17,1lc	0,504***	EMi = 127 + 9,4lc	0,470**	EMi = 133 + 7,7lc			
q	0,869***	q = 0,60 + 0,018lc	0,193**	q = 0,57 + 0,0063lc	0,417**	q = 0,56 + 0,0084lc			
L	0,829***	L = 2,48 + 0,261lc	0,379***	L = 2,39 + 0,105lc	0,413**	L = 2,29 + 0,109lc			
EMi/EDi	ns	EMi/EDi = 0,84 ± 0,003(t)	0,156*	EMi/EDi = 0,87 + 0,0028lc	0,495**	EMi/EDi = 0,82 + 0,0041lc			
EBL_i	0,621***	EBL_i = 19,2 ± 1,63lc	0,264***	EBL_i = 15,9 + 1,20lc	0,381*	EBL_i = 16,3 + 1,20lc			

B1: 25 % de harina de pescado. B2: 12,5 % de harina de pescado. B: Trigo + subproductos con fibra de alta digestibilidad.

En MJ/vaca-día: EBi = Energía bruta ingerida; EDi = Energía digestible ingerida; EMi = Energía metabolizable ingerida; Metabolizabilidad: q = EMi/EBi; L = Nivel de alimentación. EBL_i: Energía bruta excretada en leche respecto a total ingerida.

pbcor: Coeficiente de correlación robusto. Si resulta NS:

t: Media recortada 20 % ± error estándar.

***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$.

Valoración energética de los forrajes

Los resultados de valoración energética de las diez categorías de forraje consideradas se presentan en la Tabla 4. En lo que concierne a la hierba verde, a partir de un máximo inicial en primavera, los valores decrecen hasta un mínimo en agosto y se recuperan durante el otoño hasta alcanzar en noviembre el mismo valor que en marzo y abril. Valorando en términos de energía metabolizable, se observan algunas diferencias significativas entre primavera temprana y tardía, que no se captan valorando en términos de energía neta. En cuanto a ensilados, en ningún caso se observan diferencias significativas entre primero y segundo corte.

Valoración energética de los concentrados

Aunque no son posibles contrastes estadísticos entre los mismos, se pueden hacer las siguientes observaciones, a partir de los resultados que se muestran en la Tabla 5. En términos de energía metabolizable a nivel de mantenimiento (EM_{1x}), los concentrados B1 y B2, tienen el mismo valor, superior al de B (12,8-12,7 MJ/kg MS vs. 10,7 MJ/kg MS). En cuanto a las UFL, B1 presenta un valor superior a B2 y B, que no se diferencian entre sí (1,44 UFL/kg MS vs. 1,17 UFL/kg MS y 1,19 UFL/kg MS). Los valores de energía neta de lactación a nivel de alimentación 3 (ENL_{3x}), no presentan diferencia entre los tres concentrados (1,87 Mcal/kg MS; 1,90 Mcal/kg MS y 1,95 Mcal/kg MS, para B1, B2 y B, respectivamente).

Tabla 4. Contenido en energía digestible (MJ/kg MS), energía metabolizable (MJ/kg MS), unidades forrajeras leche (UFL/kg MS) y energía neta de lactación (Mcal/kg MS) de los forrajes.

Table 4. Digestible energy (MJ/kg DM), metabolizable energy (MJ/kg DM, milk forage units (UFL/kg DM) and net energy of lactation (Mcal/kg DM) of the forages.

Forraje	ED resultante	EM resultante	ED1x	EM1x	UFL/kg MS	ENL3x
Marzo	13,2±0,41 ^c	11,3±0,33 ^c	13,8±0,36 ^{bc}	11,5±0,27 ^{bc}	0,98±0,043 ^b	1,39±0,081 ^c
Abril	13,4±0,24 ^c	11,3±0,23 ^c	14,1±0,21 ^c	11,7±0,25 ^c	0,98±0,023 ^b	1,40±0,037 ^c
Mayo	13,0±0,46 ^{bc}	10,9±0,37 ^c	13,7±0,39 ^{bc}	11,3±0,26 ^{bc}	0,93±0,050 ^{ab}	1,31±0,092 ^c
Junio1	12,8±0,19 ^{bc}	10,8±0,21 ^{bc}	13,6±0,22 ^{bc}	11,1±0,19 ^{bc}	1,01±0,062 ^b	1,49±0,108 ^c
Junio2	12,1±0,43 ^b	10,1±0,43 ^b	12,6±0,45 ^{ab}	10,2±0,36 ^{ab}	0,87±0,051 ^{ab}	1,18±0,093 ^{bc}
Agosto	10,2±0,22 ^a	8,4±0,22 ^a	11,0±0,34 ^a	8,9±0,27 ^a	0,69±0,020 ^a	0,84±0,057 ^a
Octubre	12,8±0,23 ^b	10,5±0,18 ^b	13,2±0,24 ^b	10,8±0,17 ^b	0,87±0,043 ^{ab}	1,23±0,075 ^c
Noviembre	13,5±0,31 ^c	10,9±0,28 ^c	14,0±0,25 ^{bc}	11,3±0,20 ^{bc}	0,95±0,029 ^b	1,34±0,060 ^c
Ens. Hor.	11,9±0,26 ^b	9,8±0,27 ^b	11,2±0,22 ^a	9,1±0,18 ^a	0,77±0,022 ^{ab}	0,96±0,044 ^{ab}
Ens. Rot.	12,0±0,18 ^b	10,0±0,13 ^b	11,5±0,21 ^{ab}	9,3±0,17 ^a	0,78±0,012 ^{ab}	1,01±0,033 ^b

Forraje: Hierba verde del mes indicado. O bien: Ens. Hor. = Ensilado horizontal de primer corte; Ens. Rot. = Ensilado de rotopacas de segundo corte.

Junio1: Experiencia iniciada entre 1 y 15 de junio. Junio2: Después del 15 de junio.

ED = Energía digestible; EM = Energía metabolizable; UFL = Unidades forrajeras leche; ENL = Energía neta de lactación.

1x: Valores referidos a nivel de mantenimiento; 3x: Valores referidos a nivel de alimentación = 3.

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

Tabla 5. 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 5. Digestible energy (MJ/kg DM), metabolizable energy (MJ/kg DM) and net energy of lactation (Mcal/kg DM) of the concentrates B1, B2 and B.

Concentrado	ED resultante	EM resultante	ED1x	EM1x	UFL/kg MS	EN13x
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; EN1 = Energía neta de lactación.

1x: Valores referidos a nivel de mantenimiento; 3x: Valores referidos a nivel de alimentación = 3.

Balance en nitrógeno sin suplementación

Los resultados del balance en nitrógeno sin suplementación, figuran en la Tabla 6. El N ingerido es máximo durante la primavera ($465 \pm 28,6$ g/día) y en noviembre, y mínimo durante el período de alimentación con ensilados ($272 \pm 12,2$ g/día y $275 \pm 29,8$ g/día para primer y segundo corte, respectivamente). Con respecto a las pérdidas urinarias del N ingerido, los valores son máximos en noviembre ($60,7 \pm 3,22$ %) y mínimos en agosto ($34,3 \pm 3,23$ %).

La recuperación del N ingerido en leche es máxima en primavera temprana ($25,6 \pm 1,91$ % en marzo) y mínima durante el período de alimentación con ensilado de rotopacas de segundo corte ($5,2 \pm 2,62$ %).

Efecto de la suplementación sobre el balance en nitrógeno

El efecto de la suplementación con los tres concentrados sobre el balance de nitrógeno se muestra en la Tabla 7. La suplementación con los concentrados B1 y B2 incrementó la ingestión de nitrógeno, resultado que no tuvo lugar con el concentrado B. Por otro lado, la suplementación con el concentrado B2 re-

dujo significativamente las pérdidas urinarias de nitrógeno ingerido y en cuanto a la recuperación de nitrógeno ingerido en leche, todos los concentrados la incrementan. Finalmente, el concentrado B1 incrementó, además, el nitrógeno retenido.

Parámetros indicadores del balance en energía y nitrógeno, sobre la totalidad de ensayos realizados, sin o con adición de concentrado (medias recortadas 20 % \pm error estándar)

Además de los resultados recogidos en las Tablas 1 a 6, a continuación, se presenta la síntesis general de los balances nutricionales:

1. En cuanto a balance energético: metabolibilidad $q = 0,592 \pm 0,0043$; relación energía metabolizable/energía digestible = $0,836 \pm 0,0016$; valor D = $0,162 \pm 0,0008$.
2. En cuanto a destino del nitrógeno ingerido (%): pérdidas urinarias = $43,3 \pm 0,68$; nitrógeno retenido en el cuerpo del animal = $11,8 \pm 0,74$.
3. Para vacas no secas, la recuperación en leche es el $20,1 \pm 0,61$ % de la energía bruta ingerida y el $19,1 \pm 0,46$ % del nitrógeno ingerido.

Tabla 6. Balance en nitrógeno según categorías de forraje y sin adición de concentrado.
 Table 6. Nitrogen balance according to forage categories without supplementation.

Forraje	N ingerido (g/día)	N excretado (% del N ingerido)	
		En orina	En leche
Marzo	438±22,9 ^b	47,9±1,08 ^{ab}	25,6±1,91 ^b
Abril	444±24,8 ^b	46,6±2,68 ^{ab}	23,0±1,13 ^b
Mayo	384±20,6 ^{ab}	42,9±3,08 ^{ab}	22,6±1,32 ^{ab}
Junio1	465±28,6 ^b	46,3±1,43 ^{ab}	16,7±1,26 ^{ab}
Junio2	343±18,0 ^{ab}	43,5±3,53 ^{ab}	16,8±1,00 ^{ab}
Agosto	373±47,1 ^{ab}	34,3±3,23 ^a	13,9±1,21 ^{ab}
Octubre	375±14,7 ^{ab}	48,3±3,48 ^{ab}	8,8±0,88 ^a
Noviembre	405±24,1 ^b	60,7±3,22 ^b	10,6±0,94 ^{ab}
Ens. Hor.	272±12,2 ^a	43,0±1,79 ^{ab}	9,6±1,72 ^a
Ens. Rot.	275±29,8 ^{ab}	38,9±1,92 ^{ab}	5,2±2,62 ^a

Forraje: Hierba verde del mes indicado. O bien: Ens. Hor. = Ensilado horizontal de primer corte; Ens. Rot. = Ensilado de rotopacas de segundo corte.

Junio1: Experiencia iniciada entre 1 y 15 de junio. Junio2: Después del 15 de junio.

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

Tabla 7. Efecto de la suplementación sobre el balance en nitrógeno (Coeficientes de correlación robustos entre las respuestas a cada concentrado y la dosis empleada).
 Table 7. Effect of supplementation on nitrogen balance. (Robust correlation coefficients between responses to different concentrates and dose used).

Concentrado	N ingerido	Recuperación del N ingerido		
		En orina	En leche	Retenido
B1	0,716 ^{***}	ns	0,450 [*]	0,414 [*]
B2	0,385 ^{***}	-0,237 ^{***}	0,342 ^{***}	ns
B	ns	ns	0,447 ^{**}	ns

B1: 25 % de harina de pescado. B2: 12,5 % de harina de pescado. B: Subproductos con fibra de alta digestibilidad.

***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$.

4. El balance en proteína en el rumen (g/kg MS), sin suplementación, resultó mínimo con ensilado de hierba ($10,3 \pm 3,50$) y máximo con hierba de otoño ($55,7 \pm 6,41$; $p < 0,01$). Para primavera y verano, los respectivos valores fueron $31,3 \pm 3,75$ y $30,2 \pm 5,42$, que no difirieron significativamente de ambos extremos. Con suplementación, los valores promediados por categorías de forraje fueron $44,3 \pm 3,95$; $35,2 \pm 1,56$ y $23,8 \pm 2,83$ para B1, B2 y B, respectivamente. Los tres difieren entre sí a $p \leq 0,10$.

Discusión

La discusión de los resultados obtenidos en este trabajo se realizó teniendo en cuenta que se han obtenido con agrupación de partos a la salida del invierno.

Peso vivo, condición corporal y producción y composición química de la leche

Debido a la agrupación de partos, aunque los valores de las variables expresadas por kg de materia seca se puedan deducir, los resultados de las variables expresadas por día, están influenciados de forma directa por la semana de lactación (Wood, 1976) y de forma indirecta por la ingestión de materia seca que, de acuerdo con Vadiveloo y Holmes (1979) y Hulme et al. (1986), está a su vez afectada por la semana de lactación.

De acuerdo con la aplicación de los sistemas de alimentación referenciados, durante la fase temprana de lactación (primavera), la pérdida de peso es excesiva y la condición corporal demasiado baja, estando la evolución de la producción de leche y de sus componentes, bien adaptadas al modelo clásico de Wood (1976).

En todo lo referente a peso vivo, condición corporal, producción y composición de la leche

y recuperación en leche de la energía y el nitrógeno ingeridos, es importante diferenciar con claridad los efectos nutricionales de los que son imputables a la semana de lactación.

Balance en energía según semanas de lactación

Las pérdidas energéticas bajo forma de gases y orina obtenidas en este trabajo se ajustaron bien a la información existente (Chamberlain y Wilkinson, 1996a; NRC, 2001; Nozière et al., 2018). En lo que concierne al sistema más novedoso Systali (Sauvant et al., 2018a), hubo una razonable concordancia entre las previsiones derivadas de su aplicación y los resultados obtenidos. Se apreció claramente la compensación de mayores pérdidas energéticas fecales mediante menores pérdidas por gases y orina. Nuestros resultados no mostraron influencia significativa de la ingestión total de materia seca sobre las interacciones digestivas, hecho que se justifica por la menor variación de dicho parámetro en los resultados y por la correlación interna que mantuvo con la proporción de concentrado en la ración.

A lo largo de la primavera (semana 10 de lactación, como promedio), la ingestión de energía metabolizable sin suplementación pudo considerarse constante, al igual que el nivel de alimentación. Pero, a pesar de ello, la recuperación de energía bruta ingerida en leche siguió una evolución decreciente, la pérdida de peso resultó excesiva y la condición corporal muy baja, lo que indica una situación de subalimentación energética (Fa-verdin et al., 2018).

Las escalas de suplementación E2, E3 y E4 tenían un máximo de 5 kg concentrado/vaca-día ($4,5$ kg MS/vaca-día) (de la Roza-Delgado et al., 2021). Por tanto, fueron insuficientes para mantener $L = 3$ durante la fase creciente de lactación en primavera. De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 3, se hubiesen necesitado $6,5$ kg vaca/día del concentrado B2 o 7 kg vaca/día del B.

La escala de suplementación E1 contemplaba una dosis máxima de 9,5 kg concentrado/vaca día (8,5 kg MS/vaca-día) (de la Roza-Delgado et al., 2021). Es superior a las necesidades antes calculadas para alcanzar $L = 3$. Sin embargo, tampoco evitó las excesivas pérdidas de peso, de condición corporal y de recuperación de EBi en leche. Debe imputarse a no haber respetado las recomendaciones para vacas en periodo de transición.

Al iniciarse el verano, la recuperación de EBi en leche disminuye de forma mucho más acusada aún. Esto no se justifica por el avance de la lactación, sino por una menor EMI durante la época estival (Tabla 2). De acuerdo con la misma, para mantener la EMI, en junio se precisarían $(158 + 160 + 154 + 161)/4 - 134 = 22$ MJ/día adicionales. Habría que elevar las suplementaciones en 1,7 kg MS/día para los concentrados B1 y B2 y en 1,8 kg MS/día para el B, según la Tabla 5. En agosto, se precisarían 43 MJ/día adicionales, que requerirían incrementos de 3,3 kg MS/día para el concentrado B1, 3,4 kg MS/día para el B2 o 3,5 kg MS/día para el B.

Durante el otoño, tiene lugar una recuperación del contenido en EM1x de la hierba. Pero, la lactación está ya muy avanzada (semana 37-38), lo que se tradujo en un descenso de la capacidad de ingestión, por lo cual se incrementó muy poco la EMI. Las suplementaciones con concentrados B1, B2 y B supusieron unos incrementos respectivos de 17,1 MJ/día, 9,4 MJ/día y 7,1 MJ/día, frente a unas necesidades de gestación del orden de 30 MJ/día. Unido esto a la necesidad adicional de recuperar reservas corporales, hace imposible esperar ninguna respuesta en producción de leche.

Balance en nitrógeno a lo largo del año

Sin suplementación, el repentino incremento de las pérdidas urinarias con hierba de noviembre, coincidente con el valor máximo estimado de BPR, hecho que sugiere un exceso de proteína bruta en dicha época.

La ingestión de nitrógeno resultó mínima con hierba de agosto y también con ensilados de hierba (Tabla 6). Sin embargo, el mínimo de pérdidas urinarias de nitrógeno sólo tuvo lugar con la hierba de agosto. Estos resultados concuerdan con la complejidad de la alimentación nitrogenada y sugieren la necesidad de trabajos adicionales complementarios sobre degradabilidad ruminal y síntesis de proteína microbiana.

La suplementación con concentrado B1 se mostró muy eficiente ante la utilización del nitrógeno ingerido, aunque más que por su alto contenido en proteína, induce a pensar que la eficiencia se debe a la baja velocidad de degradación en el rumen de la harina de pescado, lo que conllevaría menores pérdidas de amoníaco ruminal. El concentrado B2 se comportó de manera similar al B1, aunque tiene un menor contenido en proteína ($19,4 \pm 0,26$ % MS vs. $23,1 \pm 0,97$ % MS). Redujo la proporción de pérdidas urinarias, además de incrementar la recuperación de nitrógeno ingerido en leche. El concentrado B, incrementó recuperación en leche sin afectar a la proporción de pérdidas urinarias. Pero, por ser el de menor contenido proteico ($14,9 \pm 0,25$ % MS), fue el que generó menos excreción de nitrógeno al medio ambiente.

Para algunos ensilados, e incluso algunos forrajes verdes de mayo, sin suplementación, el contenido en PB de la ración no alcanzó el 14 % MS, por lo que el RPB resulta negativo, señalando insuficiente aporte proteico. No obstante, se necesitaría completar esta información con ensayos adicionales relativos a la utilización del nitrógeno ingerido.

La prohibición vigente del uso de harina de pescado en nutrición de rumiantes parece limitar la aplicación práctica de los resultados obtenidos, pero actualmente es posible encontrar en el mercado alimentos de baja degradabilidad ruminal (Calsamiglia et al., 2005). Generalmente se han observado respuestas favorables de los rendimientos productivos a

la administración de proteínas protegidas (Husseïn y Jordan, 1991) y ya resulta conocido el efecto del procesado de la soja sobre su ritmo de degradación en el rumen (Stern et al., 1985).

Contenido energético de los alimentos

El contenido energético de los forrajes evolucionó de forma similar a la digestibilidad (de la Roza-Delgado et al., 2021), resultando concordante con el hecho de que las mayores pérdidas de energía tienen lugar por las heces, según se constata en todos los textos clásicos sobre nutrición animal. Las diferencias observadas entre la valoración energética según energía metabolizable o energía neta de lactación, se justifican por el efecto del distinto nivel de alimentación empleado en cada sistema: 1 según el AFRC (Chamberlain y Wilkinson, 1996a); variable según el INRA (Sauvant et al., 2018a) y 3 (en ocasiones 4) según el NRC (2001).

Comparando con las tablas de composición química y valor nutritivo de forrajes de otras áreas del arco atlántico, para la hierba de marzo a junio se observa mucha similitud con la "prairie permanente plaine" de Normandía (Baumont et al., 2018), en estado vegetativo o para pastoreo (codes INRA FV0010 y FV0020). También la hierba de otoño resulta similar a los rebrotes de tercer ciclo de dicha pradera de Normandía (codes INRA FV0130 y FV0140). La hierba de verano contiene menos UFL que los rebrotes de segundo ciclo (codes INRA FV0070 a FV0120). Observando los datos británicos (INFIC Class 20), nuestros valores de EM1x quedan dentro del intervalo 7,5-11,7 que figura en sus tablas (Chamberlain y Wilkinson, 1996b). Adicionalmente, el valor D obtenido, tanto para forraje en exclusividad, como para las dietas de forraje más concentrado, es totalmente coincidente con MAFF (1984). Contrastando con las tablas del NRC (Clark, 2001), la hierba de primavera concuerda bien con "Pasture, Cool Season" (International Feed No 2-02-260).

Respecto al contenido energético de los concentrados, los valores obtenidos por diferencia concuerdan con los previsibles a partir de los bancos de datos españoles (De Blas et al., 2019).

Las diferencias en energía neta de lactación según el sistema Systali del INRA (Nozière et al., 2018) y NRC (2001), observadas para el concentrado B1, concuerdan con el hecho de que NRC (2001) no considera interacciones digestivas. El concentrado B1 es el de mayor contenido en PB y, por tanto, el de mayor efecto sobre el balance proteico ruminal (RPB), que afecta a las mencionadas interacciones digestivas.

Conclusiones

El forraje verde de pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* de la costa centro-oriental de Asturias (zonas húmedas del Norte de España), durante primavera y otoño tardío, presentó un contenido energético elevado. Aún así, en vacas frisonas, la suplementación con concentrado no sólo incrementó la ingestión de energía, sino que también mejoró el posterior balance energético. Este resultó acorde con la bibliografía existente y con valores próximos a los promedios generales. Para un concentrado con 12,5 MJ de energía metabolizable/kg MS, la suplementación recomendable resultó de 6,5 kg de MS/vaca-día.

Durante verano y otoño temprano, el contenido energético del forraje verde resultó mucho más bajo, lo que sugiere elevar progresivamente la dosis anterior hasta 9 kg de MS/vaca-día.

A pesar del elevado contenido en proteína del forraje verde, se observó respuesta positiva ante el aporte de proteína con el concentrado, a partir de niveles superiores al 15 % sobre materia seca e, incluso pudo reducirse la excreción del nitrógeno al medio ambiente.

Los ensilados presentaron un contenido energético similar al de la hierba de verano y, en ocasiones, balance proteico en el rumen negativo. No resultan recomendables dosis concretas de concentrado, sino efectuar un racionamiento según resultados de análisis del ensilado. Esta recomendación final debe hacerse extensiva a los periodos de preparto y postparto.

No obstante, se necesita completar la información obtenida con determinaciones de metabolitos y degradabilidades ruminales que permitan una mejor evaluación de la alimentación nitrogenada.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) la financiación de los proyectos 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 Parceros, a María Antonia Cueto Ardaín, y, a todo el personal de campo de la Unidad de Producción de Leche y Nave Metabólica 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

Agricultural Development and Advisory Service (ADAS) (1989). Technical Bulletin 89/7. Methane energy loss from feedstuffs: A comparison between measured and predicted values. Her Majesty's Stationery Office. London. Great Britain. 4 pp.

Agricultural Research Council (ARC) (1980). Nutrient requirements of ruminant livestock. Technical review by an Agricultural Research Council working party. Ed. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal, Slough. Great Britain. 351 pp.

Baumont R, Tran G, Chapoutot P, Maxin G, Sauviant D, Heuzé V, Lemosquet S, Lamadon A, (2018). Chapitre 25: Tables INRA de la valeur des aliments utilisés en France. En: INRA Alimentation des ruminants. (Ed Quae, Versailles Cedex.), pp. 521-616. France.

De Blas C, García-Rebollar P, Gorrachategui M, Mateos GG (2019). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de alimentos compuestos (4ª edición). Ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid (España). 604 pp.

Blaxter KL, Clapperton JL (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. British Journal of Nutrition 19: 511-522. <https://doi.org/10.1079/BJN19650046>.

Blaxter KL (1969). The efficiency of energy transformations in ruminants. En: Energy Metabolism of Farm Animals. Proceedings of the 4th Symposium held at Warsaw, (1967) (Ed. Blaxter KL, Kielanowsky J, Thorbek GA), pp. 21-28. Oriel Press Ltd. New Castle upon Tyne. Great Britain.

Calsamiglia S, Castillejos L, Busquets M (2005). Estrategias nutricionales para modificar la fermentación ruminal en vacuno lechero. En: XXI Curso de Especialización FEDNA Avances en Nutrición y Alimentación Animal (Ed. Rebollar PG, de Blas C, Mateos GG), pp: 161-185.

Chamberlain AT, Wilkinson JM (1996a). Feeding the dairy cow. Ed. Chalcombe Publications. Lincoln. Great Britain. 318 pp.

Chamberlain AT, Wilkinson JM (1996b). Tables of Requirements and Feed Analyses. En: Feeding the Dairy Cow (Ed. Chalcombe Publications), pp. 203-223. Lincoln. Great Britain.

Clark J (2001). Nutrient composition of feeds. En: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition (Ed. Academy Press), pp. 281-314. Washington. USA.

Faverdin P, Delagarde R, Lemosquet S, Boudon A, Delaby L (2018). Chapitre 17. Vaches laitières.

- En: INRA (2018). Alimentation des ruminants (Ed Quae, Versailles Cedex), pp. 274-314. France.
- García-Paloma JA (1990). El método de la condición corporal en vacuno lechero: propuesta de una metodología unificadora. *Investigación Agraria. Producción y Sanidad Animal* 5: 121-130.
- Hulme DJ, Kellaway RC, Booth PJ, Bennett L (1986). The CAMDAIRY model for formulating and analysing dairy cow rations. *Agricultural Systems* 22: 81-108. [http://doi.org/10.1016/0308-521X\(86\)90054-5](http://doi.org/10.1016/0308-521X(86)90054-5).
- Hussein HS, Jordan RM (1991). Fish meal as a protein supplement in ruminant diets: a review. *Journal of Animal Science* 69: 2147-2156. <https://doi.org/10.2527/1991.6952147x>.
- Mair R, Wilcox P (2018). Robust statistical methods using WRS2. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/WRS2/vignettes/WRS2.pdf> (Consultado: 11 de febrero de 2021).
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food) (1984). Energy allowances and feeding systems for ruminants. Reference Book 433. Ed. Her Majesty's Stationery Office. London. Great Britain. 71 pp.
- Martínez-Fernández A, de la Roza-Delgado B, Modroño MS, Argamentería A (2008). Producción y contenido en principios nutritivos de prados, praderas y de la rotación raigrás italiano-maíz en la raza marítima centro-oriental de Asturias. *Pastos* 28: 187-224.
- Mulvany PM (1981). Dairy cow condition scoring. BSAP Occasional Publication 4: 349-353. <https://doi.org/10.1017/S0263967X00000690>.
- National Research Council (NRC) (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle 7th. rev. edition. Washington, DC, National Academy Press. USA. 405 pp.
- Nozière P, Sauvant D, Delaby L (2018). Alimentation des ruminants. INRA, 2018. Ed. Quae, Versailles, France. 640 pp. <https://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/> (Consultado: 10 de octubre de 2020).
- de la Roza-Delgado B, Martínez-Fernández A, Modroño MS, Argamentería A (en prensa). 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* Vol. xx: 1-21. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.013>.
- Sauvant D, Chapoutot D, Ortigues-Marty I, Nozière P (2018a). Chapitre 3: Digestion et apports en nutriments energetiques. En: Alimentation des ruminants. INRA, 2018. (Ed. Nozière P, Sauvant D, Delaby L), pp. 47-64. Quae, Versailles Cedex. France.
- Sauvant D, Lemosquet S, Chapoutot P, Nozière P (2018b). Chapitre 4: Digestion et apports en nutriments protéiques. En: Alimentation des ruminants. INRA, (2018) (Ed. Nozière P, Sauvant D, Delaby L), pp. 65-84. Ed Quae, Versailles Cedex. France.
- Sauvant D, Nozière P, Ortigues-Marty I (2018c). Chapitre 6: Dépenses, efficacité métabolique et besoins in energie. En: Alimentation des ruminants. INRA, 2018. (Ed. Nozière P, Sauvant D, Delaby L), pp. 99-132. Ed Quae, Versailles Cedex. France. ISBN: 978-2-7592-2867-6.
- Stern MD, Santos KA, Satter LD (1985). Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating dairy cattle fed heat-treated whole soybeans. *Journal of Dairy Science* 68: 45-56. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80796-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80796-7).
- Vadiveloo J, Holmes W (1979). The prediction of the voluntary feed intake of dairy cows. *Journal of Agricultural Science* 93: 553-562. <https://doi.org/10.1017/S0021859600038958>.
- Wood PDP (1976). Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production, with estimates of seasonal variation. *Animal Science* 22: 35-40. <https://doi.org/10.1017/S000335610003539X>.

(Aceptado para publicación el 17 de diciembre de 2021)