

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

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

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

Resumen

En una finca experimental de Asturias (Norte de España; Arco Atlántico; 43° 28' 50" N, 5° 26' 27" W, 10 m s.n.m.), con pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens*, para pastoreo rotacional y ensilado, aprovechada por vacas frisonas con partos de invierno, se determinó durante ocho años sucesivos el contenido en principios nutritivos de las ofertas y rechazos de forrajes, así como las digestibilidades *in vivo* de los mismos y el efecto de diversas suplementaciones sobre la digestibilidad de la ración total. Cada año, el rebaño se dividió en tres grupos: un lote testigo sin concentrado y otros dos para contrastar diferentes dosis (según producción o aporte fijo) y modalidades de concentrado (dos ricos en almidón y uno rico en fibra digestible). Dos vacas de cada lote se alojaban en plazas metabólicas para control de ingestión voluntaria de forraje, dosis de concentrado, excreción de heces, orina y leche, y, peso vivo y condición corporal. Diariamente se tomaron muestras para análisis de composición química y cálculo de digestibilidad *in vivo*. Los resultados mostraron que la hierba evaluada presentaba una limitación nutricional por la pérdida de digestibilidad de la materia orgánica en verano (59,4 % en agosto, más baja aún que la de los ensilados, frente a 74,4-77,5 % en primavera y 73,2-78,3 % en otoño, $p < 0,001$). No obstante, destacó la elevada digestibilidad de la fibra neutro detergente de los forrajes (intervalo anual 51,8-76,0 %). Los valores de digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de los concentrados oscilaron entre 85,5 % y 74,4 % para los dos concentrados ricos en almidón y del 71,5 % para el concentrado rico en fibra de alta digestibilidad.

Palabras clave: Vacuno lechero, pastoreo rotacional, efecto selectivo, valor nutritivo.

Sown meadows of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* in Asturias. I. Evolution of the chemical composition and *in vivo* digestibility on Friesian cows throughout the year

Abstract

In an experimental farm located in Asturias (North of Spain; Atlantic Area; 43° 28' 50" N, 5° 26' 27" W, 10 m above sea level), with sown meadows of *Lolium perenne* and *Trifolium repens*, in a system of rotational grazing and silage for Friesian cows with winter calving, was determined along eight consecutive

* Autor para correspondencia: broza@serida.org

Cita del artículo: de la Roza-Delgado B, Martínez-Fernández A, Modroño MS, Argamentería A (2022). 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-Infomación Técnica Económica Agraria 118(1): 48-68. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.013>

years the chemical composition of offers and refusals, the *in vivo* digestibility of the forages, as well as the effect of different supplementations on the total diet digestibility. Each year, the herd was distributed in three groups: a control group without supplementation and another two treatments to contrast different doses (according milk yield or flat rate) and modalities of concentrate (two concentrate rich in starch and another one in digestible fiber). Two cows of each groups were allocated into metabolic stalls to control of voluntary intake of forage, concentrate dose, excretion of feces, urine and milk, plus live weight and body condition score control. Samples were taken daily for nutritive analysis and estimation of *in vivo* digestibility. It was detected that the evaluated grass from North of Spain has a nutritional limitation due to organic matter digestibility loss in summer (59.4 % in August, respect 74.4-77.5 % in spring and 73.2-78.3 % in autumn, $p < 0.001$). Nevertheless, it was surprising the high neutral detergent fiber digestibility results (annual range 51.8-76.0 %). The *in vivo* organic matter digestibility of concentrates values ranged from 85.5 % and 74.4 % for starch-rich concentrates and 71.5 % for the concentrate rich in high digestibility fiber.

Keywords: Dairy milk, rotational grazing, selective effect, nutritive value.

Introducción

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, por limitaciones de disponibilidad de superficie, topografía, entre otros. Por ello, muchas de las explotaciones de la Cornisa Cantábrica han mantenido una elevada dependencia de alimentos adquiridos, lo que supone una mayor suplementación, debido a su limitada base territorial, por lo que resulta necesaria la mejora de su autonomía alimentaria mediante un incremento de la producción y la calidad de los forrajes propios.

El manejo en pastoreo presenta cada vez más oportunidades, debido, por una parte, a su bajo coste y, por otra, a que la industria láctea trata de adaptarse a las demandas de los consumidores respecto de una producción respetuosa con el medio ambiente, impulsando sistemas de manejo más sostenibles, que deriva en una estrategia comercial y la obtención de precios más elevados que los convencionales (Blanco-Penedo *et al.*, 2019). A ello, se une que la producción de leche en el Norte de España está bien vista por la sociedad, que aprecia una alimentación más

natural, mayor bienestar y salud animal. Por tanto, existe una tendencia en alza hacia la producción de leche de vacuno en sistemas sostenibles y de reducido impacto medioambiental basados en la utilización de pastos y forrajes frescos y ensilados.

Por otro lado, el norte de Europa se posiciona en la vanguardia del bienestar animal, con gran concienciación sobre las necesidades de los animales y cuenta con una legislación que reconoce que el acceso al pasto en el ganado vacuno forma parte del comportamiento natural de las vacas.

En la Cornisa Cantábrica la producción de leche de vacuno en sistemas sostenibles y de reducido impacto medioambiental, se basa en la utilización de pastos y forrajes frescos y ensilados. Martínez-Fernández *et al.* (2008) determinaron a lo largo de 12 años la producción de materia seca de prados, praderas y cultivos forrajeros anuales en una finca experimental del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA) en Villaviciosa (Asturias). Además, tuvo lugar el análisis químico de todas las muestras de ofertas y rechazos de hierba, así como del forraje segado para ensilar y de los ensilados obtenidos, tratando de obtener toda la información nutricional posible mediante

métodos de laboratorio, para recoger la variabilidad interanual e interestacional y, que, en definitiva, resultase una herramienta de ayuda a este tipo de explotaciones.

La valoración nutricional de alimentos para el ganado, incluye evaluaciones de digestibilidad *in vivo* además de las rutinas analíticas. De la Roza-Delgado et al. (2007) llevaron a cabo ensayos *in vivo* sobre ganado ovino para determinar la digestibilidad *in vivo* de forrajes verdes, prehenificados y ensilados producidos en las mismas fincas del SERIDA en que se realizaron los ensayos de larga duración antes referenciados.

Se pretendió incrementar el grado de autonomía de la explotación lechera en la alimentación del ganado mediante la optimización en el uso de los recursos forrajeros propios, a través del conocimiento del valor nutricional de los recursos forrajeros, basado en una experiencia de 8 años paralela y complementaria a todo lo anterior. Tratando de reducir el impacto ambiental y avanzar hacia un modelo de explotación mucho menos dependiente de insumos externos para la alimentación y, por tanto, más sostenible y en línea con las demandas de los consumidores. Este trabajo se planteó como la primera etapa de una serie de experiencias que combinan ensayos sobre producción y calidad de la leche con otros de tipo metabólico, incluyendo la determinación de parámetros nutricionales de forrajes y de la suplementación aplicada, a fin de caracterizar la relación existente entre ambos.

Material y métodos

Finca experimental, rebaño e instalaciones

Se utilizó una finca experimental del SERIDA (43° 28' 50" N, 5° 26' 27" W, 10 m s.n.m.). Su suelo es arcilloso y húmedo. La precipitación total anual es de 1102 mm y la temperatura media anual de 13,2 °C. Su superficie de

24 ha está dividida en 18 parcelas de 0,8-1,9 ha para pastoreo rotacional. Dispone de sala de ordeño en paralelo, estabulación libre con dispositivo para suministro individual y programado de concentrado y parque de maquinaria completo.

El rebaño se componía de 60 vacas de raza Holstein Friesian, con un 30 % de novillas de primer parto.

La nave metabólica para vacuno lechero dispone de nueve plazas de adaptación y seis para recolección de heces, orina y leche. Se construyó conforme al modelo del *Institute of Grassland and Environmental Research* (Reino Unido).

Manejo de la finca y del rebaño

Las parcelas, excepto dos que eran de prado, estaban destinadas a praderas de raigrás inglés (*Lolium perenne* L.), raigrás híbrido (*Lolium x hybridum* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Respecto al raigrás inglés, se utilizaron diez variedades de precocidad diferente, desde muy precoz a muy tardía, diploides y tetraploides. De trébol blanco, se sembró siempre la variedad cv. 'Huía', de acuerdo a lo descrito por Martínez-Fernández et al. (2008).

El raigrás híbrido (cv. 'Manawa' y cv. 'Sabrina'), debido a su escasa persistencia, tiene mínima contribución a la producción pratense a partir del segundo año. Por tanto, la pradera se puede considerar como de raigrás inglés y trébol blanco con adventicias, principalmente representadas por *Rumex obtusifolius* L., *Ranunculus despectus* M. Laínz, *Agrostis capillaris* L., *Taraxacum officinale* Weber s.l., *Rumex acetosa* L., *Dactylis glomerata* L. y otras.

La fertilización consistió inicialmente en 120 kg/ha/año de P₂O₅ y 80 kg/ha/año de K₂O. En años sucesivos, se ajustó en función de los resultados de análisis de suelo. De nitrógeno, se aportaron 30 kg/ha en invierno y después de cada aprovechamiento en pastoreo con condiciones climáticas favorables

(90-300 kg N/ha/año según temperatura y precipitaciones a lo largo del año). Para el primer corte a ensilar (en abril o mayo), se reservó el 40-50 % de la superficie total. Se aportaron 100 kg N/ha y se segó tras 6-7 semanas de crecimiento de la hierba. Para el segundo corte (en junio o julio), se reservó sólo el 30-40 % de la superficie total, se aportaron 80 kg N/ha y se segó a las 5-6 semanas. Con el primer corte, se efectuó ensilado directo en silo trinchera, con adición de ácido fórmico (3,5 l/t de forraje verde) en caso de alta humedad medioambiental. Para el segundo corte se prehenificó la hierba segada y se elaboró ensilado en rotopacas.

La altura media anual del pasto, tomada con swardstick, fue de $18,9 \pm 2,94$ cm a la entrada del rebaño y de $7,4 \pm 0,31$ cm a la salida.

La fecha media de parto de las vacas tuvo lugar en enero. El rebaño se dividió cada año en tres lotes homogéneos: uno para pastoreo rotacional sin suplementación (solo bloques de corrector vitamínico-mineral a libre disposición) y, los otros dos, se suplementaron con tres tipos de concentrados (B1, B2 y B), cuya composición en ingredientes y dosis se presentan en la Tabla 1. Los ordeños tenían lugar a las 7:00 y a las 15:00. A este manejo rutinario se agregó la actividad experimental.

Diseño experimental

En los ensayos solo se utilizaron vacas multíparas.

Se consideraron diez categorías de factor Forraje: hierba verde del mes de marzo, de abril, de mayo, de primera mitad de junio (Junio1), de segunda mitad de junio (Junio2), de agosto, de octubre, de noviembre, ensilado horizontal de primer corte y ensilado de rotopacas de segundo corte. Y, tres categorías de factor tipo de concentrado (TipoConc). Dos eran de alto contenido en almidón (B1 y B2) y otro rico en fibra de alta digestibilidad (B).

Se utilizaron a su vez cuatro diferentes escalas de suplementación (E1, E2, E3, E4). Al concentrado B1 se le aplicaron las escalas E1 y E2. Al B2, todas las escalas mencionadas. Por otro lado, al B, sólo la E4. Resultan así siete diferentes suplementaciones B1E1, B1E2, B2E1, B2E2, B2E3, B2E4, BE4. Véanse en la Tabla 1 las características de los tres concentrados y los kg concentrado/vaca/día, correspondientes a cada escala.

Cada año, el rebaño se dividió en un lote testigo sin concentrado y otros dos para contrastar sucesivamente las siete combinaciones TipoConc \times Escala de suplementación, según lo antes expuesto. Cada 2-4 meses, seis vacas representativas (dos de cada lote) se alojaron en la nave metabólica en respectivas plazas individuales para control de ingestión voluntaria de forraje, dosis de concentrado y recogida de excretas con sistema de separación de heces y orina. Se determinó al principio y final de cada experiencia el peso vivo en ayunas tras el primer ordeño, a fin de calcular el nivel de alimentación a que tuvo lugar el ensayo, estableciéndose 15 días de adaptación y 7 días de control. Los animales recibían la misma dieta que su lote de procedencia, donde una pequeña superficie de cada parcela de pastoreo asignada era cercada para segar diariamente la cantidad necesaria de hierba, mediante motosegadora de barra de corte frontal de 1,50 m de ancho, con una altura de corte de 5-6 cm. Se tomaron dos muestras diarias: una para determinación del contenido en materia seca (MS; estufa de aire forzado a 102 °C durante 24 h) y otra se conservó a -30 °C hasta su liofilización. Para ensilado horizontal se disponía de desensiladora y para ensilado de rotopacas, de punzones frontal y posterior. La cantidad necesaria para la nave metabólica se separaba manualmente y se muestreaba de igual manera que el forraje verde, agregando una muestra de 1 kg a acumular a -30 °C, con destino a extracción de jugo para análisis fermentativo.

Tabla 1. Composición porcentual de ingredientes en concentrados y escalas de suplementación aplicadas.
 Table 1. Ingredients percentage of the compound feeds and supplementation targets.

Concentrado	Composición (†)			
B1	Cebada	75 %		
	Harina de pescado	25 %		
	Corrector 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	kg concentrado /vaca-día			
E1	9,5-0 (según producción de leche)			
E2	5-0 (según producción de leche)			
E3	2 en primavera; 5 resto del año			
E4	5 constante en toda la lactación			
Escalas aplicadas según concentrado				
Concentrado	Escalas			
	E1	E2	E3	E4
B1	Aplicada	Aplicada	na	na
B2	Aplicada	Aplicada	Aplicada	Aplicada
B	na	na	na	Aplicada

(†): Al inicio de estas experiencias, de muy larga duración, aún no estaba en vigor la prohibición del uso de harinas de origen animal en la Unión Europea. De cualquier manera, el uso de las mismas carece de importancia para la interpretación de los resultados obtenidos.

na: no aplica.

Resulta imposible que en la nave metabólica se pueda reproducir exactamente el comportamiento del animal en el pasto; solo se puede pretender una aproximación. Conforme al sistema de alimentación más novedoso (Systali project), desarrollado por el INRA, según disponibilidad de hierba y tiempo de pastoreo, se puede diferenciar una situación de control no nutricional de la ingestión de otra situación de control nutricional (Faverdin *et al.*, 2018a,b). Las condiciones en que se realizó el presente trabajo, enmarcado dentro del ya referenciado de Martínez-Fernández *et al.* (2008), lo sitúan dentro del control nutricional, siendo esperable una aproximación al comportamiento en pastoreo.

El concentrado se suministró en dos aportes iguales después de cada ordeño diario y se tomaron dos muestras en cada balance, una para determinación de MS y otra para su análisis en el Laboratorio de Nutrición del SERIDA (Acreditación ENAC 430/LE930). Las dosis por vaca se ingirieron en un plazo de 30 min, sin rechazos. A continuación, se aportó la mitad de la dieta basal de hierba segada o de ensilado de hierba, que fue calculada como ingestión de MS del día anterior más un 10 % durante el periodo pre-experimental. En función de estos resultados previos, durante el periodo de control se asignó una cantidad constante de forraje en oferta, esperando un 10 % de rechazos en MS.

Las determinaciones realizadas fueron:

- Composición química: materia seca (MS), cenizas, proteína bruta (PB), fibra neutro detergente (FND), fibra neutro detergente libre de cenizas (FNDLC) y energía bruta (EB) de ofertas y rechazos del forraje. En ofertas de forraje se determinó también la digestibilidad enzimática neutro detergente-celulasa de la materia orgánica (DEMO).

- En las muestras acumuladas de oferta de ensilados se obtuvo jugo por presión con destino a análisis de pH, nitrógeno soluble, nitrógeno amoniacal, ácidos grasos volátiles y alcoholes.

- Coeficientes de digestibilidad *in vivo* de los principios nutritivos, calculados individualmente por vaca.

Se consideró necesario efectuar las siguientes determinaciones adicionales:

- Rechazos totales en MS sobre la respectiva oferta (pRechazos). El objetivo era mantener un 10 %, pero el contenido en materia seca de forrajes verdes y ensilados varía diariamente e imposibilita cumplir con exactitud el objetivo inicial.
- Composición química de los concentrados: MS, cenizas, PB, extracto etéreo con hidrólisis previa, fibra bruta, materiales extractivos libres de nitrógeno, FND con amilasa, ídem libre de cenizas (FNDLC) y EB.

Los coeficientes de digestibilidad de los principios nutritivos de los forrajes se refirieron a nivel de alimentación igual a 1 para poder efectuar su predicción por métodos de laboratorio en igualdad de condiciones, siguiendo la metodología que se describe a continuación.

Siendo conocidos los valores de EB, su digestibilidad y la ingestión voluntaria, el cálculo de la energía digestible ingerida (EDI) es inmediato. Considerando las necesidades de energía digestible de mantenimiento ($ED_m = (0,5 \times [\text{peso vivo}]^{0,75} + 0,81)$), según ARC (1980), se calcula el nivel de alimentación ($L = EDI/ED_m$). Los coeficientes de digestibilidad de la materia orgánica de los forrajes (DMOf), pueden ahora ser referidos a nivel de mantenimiento (DMO1x) según la siguiente expresión (Blaxter, 1969):

$$DMO1x = [DMOf + 10,7 \times (L - 1)] / [1 + 0,113 \times (L - 1)]$$

Análisis químicos

Las muestras liofilizadas de ofertas de forrajes, rechazos y heces fueron molidas a 0,75 mm para análisis de MS final y cenizas (analizador termogravimétrico modelo TGA-601 de Leco Instr; 103 °C y 550 °C respectivamente; PB como nitrógeno Kjeldahl \times 6,25 (Tecator); FND y FNDLC (Van Soest et al., 1991); DEMO (Riveros y Argamentería, 1987); EB se determinó con un calorímetro adiabático PARR. Las muestras de concentrado fueron molidas directamente a 1 mm para posterior análisis de los componentes especificados en el apartado anterior con el mismo instrumental. Una submuestra de cada ensilado de hierba fue prensada para determinación en el jugo de pH, nitrógeno soluble (Kjeldahl), nitrógeno amoniacal (Fiastar, Tecator), ácidos láctico, acético, propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico y valérico (cromatografía de gases, columna Carboxpack de Supelco) y metanol, etanol, propanol y butanol (cromatografía de gases, columna TC de Supelco). La materia seca verdadera de los ensilados se determinó según pérdida de peso tras liofilización.

Análisis estadístico

Se efectuó mediante la aplicación informática R de libre acceso (R Core Team, 2013). Como paso previo, se comprobó el ajuste a la distribución normal de todos los parámetros considerados mediante el test de Shapiro-Wilks. También, si se cumplía el supuesto de homogeneidad de varianzas (a nivel de valores obtenidos y de residuos según modelo lineal), mediante el test de Bartlett. Salvo pocas ocasiones, no se hallaron problemas de falta de normalidad. Pero sí se detectó heterocedasticidad en la mayoría de los casos, a veces altamente significativa e imposible de solucionar mediante transformaciones. Debido a ello, se optó por acudir a los métodos robustos (WRS2; Mair y Wilcox,

2018) en lugar de los paramétricos. La composición química de las ofertas y rechazos de forraje se contrastó mediante análisis de varianza robusto t1way sobre las medias recortadas al 20 %, seguido de los posteriores contrastes lineales entre las mismas, en caso de F significativa ($p \leq 0,05$). Para los coeficientes de digestibilidad, se utilizó el mismo modelo anterior. Ante la imposibilidad de considerar Forraje y TipoConc como dos factores cruzados, ya que la estadística robusta exige que el cruzamiento sea a todos los niveles, fue necesario sintetizar las diez categorías de Forraje y las tres de TipoConc en $10 \times 3 = 30$ categorías diferentes ForTipoConc. Para TipoConc = No, se obtiene la digestibilidad *in vivo* de las diez categorías de sólo forraje. Para TipoConc = B1, B2, B se obtienen las digestibilidades *in vivo* de las respectivas raciones de forraje + concentrado, así como las proporciones de MS, materia orgánica, PB, FND (libre de cenizas o no) que proceden del concentrado (pMSc, pMOc, pPBc, pFNDc, pFNDLCc, pEBc).

La previsión inicial era haber considerado el año como factor de efecto aleatorio dentro de modelos mixtos. La estadística robusta no contempla esta posibilidad, por lo que el efecto año quedó incluido dentro del error. En total se realizaron 41 balances nutricionales: 34 con 6 vacas, 6 con 2 vacas, 1 con 4 vacas, lo que supone 220 determinaciones a lo largo de ocho años, incluidos dentro de las 12 anualidades en que se llevó a cabo la evaluación de la pradera de *Lolium perenne-Trifolium repens* en Asturias.

La predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de los forrajes en función de la digestibilidad enzimática se efectuó también mediante estadística robusta. Con el paquete estadístico mvoutlier, se diferenciaron las muestras atípicas en la población original y a continuación, mediante el paquete estadístico MASS, se efectuaron los análisis de regresión con el procedimiento rlm.

Resultados

Composición química de los concentrados

La composición químico-bromatológica de los concentrados, y su contenido en EB, se presenta junto a su error estándar en la Tabla 2. Como se puede apreciar, a excepción del contenido en MS, todos los principios nutritivos analizados y contenidos en energía presentaron diferencias significativas para los distintos concentrados.

Composición química de las ofertas de forraje

En la Tabla 3, se presentan los valores medios, para las composiciones químico-bromatológicas, DEMO y contenido en EB de los forrajes en oferta. La MS de la hierba verde presenta un patrón esperable, aumenta desde el comienzo de la primavera hasta alcanzar un máximo en agosto para volver en otoño a su valor inicial. Las cenizas no presentan diferencias significativas por meses. La PB mues-

Tabla 2. Principios nutritivos de los concentrados (medias recortadas 20 % \pm errores estándar; % sobre materia seca, salvo especificaciones).

Table 2. Chemical composition of the concentrates (20 % trimmed means \pm standard errors; values in % dry matter basis, except specifications).

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

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

***, $p \leq 0,001$; **, $p \leq 0,01$; *, $p \leq 0,05$; NS.: $p > 0,05$.

tra una evolución descendente a medida que avanza la primavera (abril, 20,4 \pm 0,66 %) con posterior caída brusca en agosto (17,0 \pm 1,05 %), volviendo a crecer a lo largo del otoño hasta un máximo absoluto en noviembre (24,2 \pm 1,44 %). La DEMO decrece durante primavera (marzo, 78,9 \pm 1,45 %) y verano hasta llegar a un mínimo absoluto en agosto (56,4 \pm 2,27 %) y recuperarse a lo

largo del otoño (72,8 \pm 3,98 %). La FND exhibe evolución inversa a la anterior. La EB no muestra diferencias significativas, a excepción de un mínimo absoluto en octubre.

En cuanto a los ensilados, presentan valores superiores de MS y FND e inferiores de PB y DEMO con respecto a la hierba verde. No se observan diferencias significativas entre primero y segundo cortes.

Tabla 3. Principios nutritivos de las ofertas de forrajes (análisis de varianza robusto y medias recortadas 20 % \pm error estándar).
 Table 3. Chemical composition of the forages in offer (robust analysis of the variance and 20 % trimmed means \pm standard error).

	MS (%)	CEN (%MS)	PB (%MS)	FND (%MS)	FNDLC (%MS)	DEMO (%MS)	EB (MJ/kg·MS)
Análisis de varianza							
F =	28,0***	2,93NS	8,43**	40,2***	8,16**	6,96**	1,42NS
GL1	9	9	9	9	9	9	9
GL2	6,73	6,96	7,07	7,62	7,40	7,44	6,91
Forraje							
Hierba verde							
Marzo	17,8 \pm 2,22 a	11,0 \pm 0,37	19,4 \pm 1,2 b	40,9 \pm 1,44 a	39,1 \pm 1,84 a	78,9 \pm 1,45 b	18,1 \pm 0,07
Abril	16,2 \pm 2,08 a	10,8 \pm 0,38	20,4 \pm 0,66 b	44,6 \pm 2,21 a	43,9 \pm 2,03 a	74,6 \pm 2,01 b	18,1 \pm 0,18
Mayo	18,1 \pm 1,79 a	11,1 \pm 0,80	17,0 \pm 1,24 a	47,7 \pm 1,90 a	46,0 \pm 2,25 a	69,1 \pm 1,86 ab	18,1 \pm 0,27
Junio1	19,6 \pm 0,91 ab	9,9 \pm 0,44	18,9 \pm 1,30 a	46,5 \pm 1,07 ab	44,9 \pm 1,62 a	70,4 \pm 2,05 ab	18,5 \pm 0,26
Junio2	17,6 \pm 0,71 ab	11,2 \pm 0,88	19,4 \pm 1,35 ab	51,4 \pm 2,42 b	50,5 \pm 2,47 b	65,5 \pm 3,20 a	18,1 \pm 0,13
Agosto	23,2 \pm 1,27 b	9,7 \pm 0,88	17,0 \pm 1,05 a	51,3 \pm 0,19 b	50,5 \pm 0,14 b	56,4 \pm 2,27 a	18,7 \pm 0,53
Octubre	13,5 \pm 0,10 a	14,6 \pm 1,96	21,0 \pm 0,39 ab	48,6 \pm 4,01 ab	46,6 \pm 4,64 ab	64,0 \pm 3,06 a	17,9 \pm 0,28
Noviembre	13,3 \pm 0,49 a	12,4 \pm 1,06	24,2 \pm 1,44 ab	41,5 \pm 2,41 a	39,9 \pm 2,35 a	72,8 \pm 3,98 ab	18,2 \pm 0,30
Ensilado de hierba							
HOR(1C)	22,7 \pm 1,09 b	13,1 \pm 0,31	15,9 \pm 0,69 a	54,7 \pm 1,60 b	53,9 \pm 1,62 b	61,0 \pm 2,25 a	18,0 \pm 0,14
ROT(2C)	26,4 \pm 1,11 b	10,2 \pm 1,38	14,6 \pm 1,04 a	52,8 \pm 2,22 ab	52,1 \pm 2,27 b	62,6 \pm 1,55 a	18,3 \pm 0,41

MS: materia seca; CEN: cenizas; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; FNDLC: fibra neutro detergente libre de cenizas; DEMO: digestibilidad neutro detergente-celulosa de la materia orgánica; EB: energía bruta.

GL: grados de libertad; Junio1: inicio de la experiencia antes del 15 de junio; Junio2: inicio de la experiencia después del 16 de junio; HOR(1C): horizontal primer corte; ROT(2C): rotopacas segundo corte.

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

***, $p \leq 0,001$; **, $p \leq 0,01$; *, $p \leq 0,05$; NS.: $p > 0,05$.

En cuanto al análisis fermentativo de los ensilados (valores medios \pm error estándar), el pH fue de $4,23 \pm 0,116$. Los metabolitos de fermentación expresados en %MS: ácido láctico = $14,8 \pm 1,32$; acético = $3,1 \pm 0,15$; propiónico = $0,26 \pm 0,029$; isobutírico = $0,24 \pm 0,045$; butírico = $2,3 \pm 0,25$; 2-metil butírico = $0,05 \pm 0,007$; isovalérico = $0,07 \pm 0,010$; valérico = $0,12 \pm 0,024$; metanol = $0,04 \pm 0,017$; etanol = $0,46 \pm 0,154$; propanol = $0,05 \pm 0,015$; butanol = $0,008 \pm 0,0017$. En %N total: N amoniacal = $19,6 \pm 1,43$; N soluble = $51,0 \pm 1,42$. La diferencia entre MS liofilizada y por secado en estufa fue de 2,0 unidades porcentuales.

El porcentaje de rechazos con respecto a las ofertas, se presenta en la Tabla 4. Para todos los meses, excepto en abril, el porcentaje de rechazos superó al esperado del 10 % en MS. Respecto a su composición, expresada en valor relativo respecto a la oferta de que proceden, los resultados se presentan en la Tabla 5. Los rechazos contienen más cenizas, más FND y menos EB que las ofertas. También menos PB, salvo para hierba de primavera. En cuanto a su contenido en MS, no se observó un comportamiento uniforme con respecto a las respectivas ofertas. El porcentaje de rechazos sobre oferta y las diferencias entre composición química de ofertas y rechazos arrojan información sobre el efecto selectivo de las vacas, el cual a su vez influye sobre la digestibilidad.

Coefficientes de digestibilidad de los forrajes

En la Tabla 6 se puede visualizar la evolución de la digestibilidad *in vivo* (%) de diversos principios nutritivos de los forrajes a lo largo del año. La digestibilidad aparente de la materia orgánica (MO) se mantuvo muy constante durante la primavera (78,3 %; 77,1 %; 76,6 % para marzo, abril y mayo, respectivamente) para descender después de junio hasta un mínimo en agosto ($58,2 \pm 1,5$ %).

Se recuperó durante el otoño, volviendo a alcanzar en noviembre el mismo valor que en primavera. La digestibilidad aparente de la PB se ajustó al mismo patrón, pero llegando en noviembre a un valor incluso superior al de primavera (78,0 % vs 74,7 %). Con respecto a las digestibilidades *in vivo* de la FND y de la FNDLC, también siguiendo el mismo patrón, hay que hacer notar que, debido al pisoteo y al suelo húmedo y arcilloso, la hierba verde presenta una mayor contaminación de cenizas insolubles, totalmente indigestibles y retenidas en la FND. De ahí que las digestibilidades *in vivo* de la FND resulten siempre inferiores a las de la FNDLC.

En cuanto a los ensilados de hierba, no difirieron significativamente entre sí. Presentaron valores similares a los de la hierba de junio1-junio2, excepto para digestibilidad aparente de la PB, que resultó similar a la de la hierba de agosto. En cuanto a los valores de digestibilidad *in vivo* de la FND, las diferencias entre la de FND y FNDLC son superiores a las obtenidas en el forraje verde, que llega a ser de más de 10 puntos para el ensilado horizontal, obteniéndose no obstante valores muy elevados, igualando y a veces superando a la de la MO.

Efectos de la adición de concentrado sobre la digestibilidad de la ración

En la Tabla 7 se pueden visualizar los efectos de los tres concentrados sobre la digestibilidad de los principios nutritivos de la ración total según naturaleza del forraje, calculadas en base a las proporciones de los principios nutritivos de concentrado en la ración, de acuerdo con el incremento de digestibilidad debido a la adición de concentrado, así como la digestibilidad de este. En síntesis, el concentrado que más incrementa la digestibilidad de la ración total para todos los principios nutritivos es el B1 y el que menos es el B. El B2 tiene un efecto más parecido a B que a B1.

Tabla 4. Porcentaje de rechazos según forraje en oferta sin o con suplementación (en materia seca).
 Table 4. Refusals levels of each forage supplemented or not (dry matter basis).

	Rechazos (%)
Análisis de varianza	
Forraje	***
Ingestión de concentrado	***
Interacción	NS
Forraje	
Hierba verde del mes indicado	
Marzo	12,6 ± 1,74 ab
Abril	9,8 ± 1,31 a
Mayo	13,2 ± 1,23 b
Junio1	14,2 ± 1,15 b
Junio2	17,0 ± 1,62 b
Agosto	16,0 ± 1,75 b
Octubre	13,2 ± 1,42 b
Noviembre	11,4 ± 1,27 a
Ensilado de hierba	
HOR(1C)	26,1 ± 1,48 c
ROT(2C)	22,5 ± 1,94 c
	a, b, c: señala *
Ingestión de concentrado	
No	14,9 ± 0,90
Si	16,4 ± 0,80

Junio1: inicio de la experiencia antes del 15 de junio; Junio2: inicio de la experiencia después del 16 de junio; HOR(1C): horizontal primer corte; ROT(2C): rotopacas segundo corte.

a,b,c: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p \leq 0,05$. ***, $p \leq 0,001$; **, *, $p \leq 0,05$; NS: $p > 0,05$.

Tabla 5. Principios nutritivos de los rechazos en valor relativo a la oferta de que proceden [100 x (contenido en rechazos / contenido en oferta)], según forrajes e ingestión de concentrado.
 Table 5. Chemical composition of refusals in relative value to your respective offer [100 x (refusals content / offer content)], according to forage nature and with or without supplementation.

	MS	CEN	PB	FND	FNDLC	EB
Forraje	F= 311,9***	47,7***	28,9*	80,4***	63,5***	29,8*
Hierba verde						
Marzo	94 ± 4,8 b	130 ± 10,0 b	100 ± 2,2 bc	105 ± 1,3 a	102 ± 1,7 ab	93 ± 1,2 bc
Abril	119 ± 18,0 bc	135 ± 7,1 b	96 ± 2,0 b	111 ± 1,7 b	104 ± 1,8 b	95 ± 0,8 bc
Mayo	79 ± 9,0 ab	148 ± 12,9 b	94 ± 1,5 ab	111 ± 0,9 b	103 ± 1,7 b	93 ± 1,5 bc
Junio1	55 ± 1,6 a	114 ± 2,6 a	98 ± 1,5 b	112 ± 1,4 b	114 ± 2,4 c	98 ± 0,5 c
Junio2	65 ± 7,9 a	114 ± 3,5 a	97 ± 1,9 b	105 ± 0,9 a	102 ± 1,1 ab	97 ± 0,6 c
Agosto	72 ± 5,6 a	121 ± 13,6 a	89 ± 2,3 a	108 ± 1,6 ab	105 ± 2,5 bc	95 ± 1,2 b
Octubre	108 ± 10,3 bc	161 ± 8,9 c	93 ± 2,0 ab	114 ± 1,3 b	96 ± 4,1 ab	87 ± 2,3 b
Noviembre	102 ± 4,6 b	133 ± 7,8 b	97 ± 1,2 b	113 ± 2,1 b	104 ± 1,6 b	95 ± 1,0 b
Ensilado de hierba						
HOR(1C)	120 ± 5,6 c	127 ± 3,8 b	94 ± 1,3 ab	107 ± 0,7 a	96 ± 1,0 a	96 ± 0,8 b
ROT(2C)	131 ± 10,7 c	162 ± 18,8 c	106 ± 2,5 c	103 ± 1,2 a	93 ± 3,6 a	92 ± 2,5 a
Ingestión de concentrado	F= 2,3 NS	13,9***	6,1*	0,004NS	9,1**	10,1**
No	97 ± 4,0	146 ± 5,0	95 ± 0,9	95 ± 0,9	99 ± 1,2	99 ± 1,2
Si	100 ± 5,1	122 ± 2,6	97 ± 0,8	97 ± 0,8	105 ± 0,8	105 ± 0,8
Forraje x ingestión de concentrado	F= 14,0 NS	9,6 NS	4,9 NS	17,2 NS	19,9 NS	7,1 NS

MS: materia seca; CEN: cenizas; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; FNDLC: fibra neutro detergente libre de cenizas; EB: energía bruta; Junio1: inicio de la experiencia antes del 15 de junio; Junio2: inicio de la experiencia después del 16 de junio; HOR(1C): horizontal primer corte; ROT(2C): rotopacas segundo corte.

a,b,c: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p \leq 0,05$. ***, $p \leq 0,001$; **, $p \leq 0,01$; *, $p \leq 0,05$

Tabla 6. Evolución de la digestibilidad *in vivo* (%) de diversos principios nutritivos de los forrajes a lo largo del año (análisis de varianza robusto y medias recortadas 20 % \pm error estándar).
 Table 6. *Evolution of nutrients in vivo digestibility of the forages along year, % (robust analysis of variance and 20 % trimmed means \pm standard error).*

		% Digestibilidad <i>in vivo</i> de los parámetros						
		MS	MO	PB	FND	FNDLC	EB	
Análisis de varianza								
F =	31,8***	24,4***	173,5***	150,9***	1085,0***	40,7***		
GL1	30	30	30	30	30	30		
GL2	27,92	27,57	28,85	29,03	28,22	28,09		
Forraje								
Hierba verde								
Marzo	75,6 \pm 2,15 d	78,3 \pm 1,88 c	73 \pm 2,25 bc	76 \pm 2,31 c	78,4 \pm 2,09 c	73,8 \pm 2,14 d		
Abril	75,2 \pm 1,05 d	77,1 \pm 1,23 c	74,7 \pm 1,58 bc	75,7 \pm 1,91 c	78 \pm 1,76 c	74 \pm 1,15 d		
Mayo	73,5 \pm 2,43 d	76,6 \pm 2,04 bc	71,9 \pm 2,95 b	74,1 \pm 2,76 c	77,3 \pm 2,49 bc	71,9 \pm 2,52 cd		
Junio1	70 \pm 0,72 cd	73 \pm 0,68 bc	73,9 \pm 0,91 bc	69,5 \pm 1,07 c	71,7 \pm 0,55 b	69 \pm 0,87 cd		
Junio2	67,1 \pm 2,66 cd	70,3 \pm 2,34 bc	74,8 \pm 1,72 c	66,2 \pm 2,93 b	70,3 \pm 2,32 b	66,8 \pm 2,42 bc		
Agosto	54,1 \pm 1,19 a	58,2 \pm 1,5 a	63,3 \pm 1,54 b	51,8 \pm 0,51 a	54,9 \pm 0,96 a	54,4 \pm 0,85 a		
Octubre	66,9 \pm 1,18 c	73,7 \pm 1,53 bc	75,7 \pm 1,18 c	66 \pm 2,15 b	76,3 \pm 3,17 bc	71,4 \pm 1,21 cd		
Noviembre	73,1 \pm 1,54 d	76,8 \pm 1,44 c	78 \pm 1,59 d	73,3 \pm 0,89 c	78,7 \pm 1,43 c	73,1 \pm 1,58 d		
Ensilado de hierba								
HOR(1C)	62,9 \pm 1,39 b	68,1 \pm 1,37 b	60,7 \pm 1,23 b	62,8 \pm 2,22 b	72,5 \pm 1,77 b	65 \pm 1,33 b		
ROT(2C)	64,4 \pm 0,87 b	69,7 \pm 0,51 b	56,9 \pm 1,82 a	64,6 \pm 1,23 b	71,6 \pm 0,75 b	65,1 \pm 0,81 b		

MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; FNDLC: fibra neutro detergente libre de cenizas; EB: energía bruta.

GL: grados de libertad; Junio1: inicio de la experiencia antes del 15 de junio; Junio2: inicio de la experiencia después del 16 de junio; HOR(1C): horizontal primer corte; ROT(2C): rotopacas segundo corte.

a, b, c, d: * en la misma columna difieren a $p \leq 0,05$. ***, $p \leq 0,001$.

Tabla 7. Efectos de los concentrados sobre la digestibilidad de los principios nutritivos de la ración total, según naturaleza del forraje.

Table 7. Concentrate effects on nutrient digestibility of total rations according to forage nature.

	Efectos sobre la digestibilidad in vivo de los parámetros en %					
	MS	MO	PB	FND	FNDLC	EB
Concentrado B vs. B1						
Forraje						
Hierba verde						
Abril	-6,2 *	-12,4 NS	-10,2 NS	-9,9 **	-8,4 **	-5,5 *
Mayo	-10,0 **	-10,8 **	-17,8 ***	-13,2 NS	-10,9 NS	-12,1 *
Ensilado de hierba						
HOR(1C)	10,7 NS	7,2 NS	5,9 NS	18,9 NS	11,4 NS	7,0 NS
Concentrado B vs. B2						
Forraje						
Hierba verde						
Abril	-1,2 NS	-7,6 NS	-3,2 NS	-0,4 NS	-1,2 NS	0,1 NS
Mayo	-0,2 NS	-0,6 NS	-5,8 NS	-4,6 NS	-3,2 NS	-0,8 NS
Junio1	-1,0 NS	-1,0 NS	0,6 NS	0,0 NS	-1,2 NS	-1,1 NS
Octubre	-1,5 NS	-0,9 NS	-4,1 *	0,0 NS	1,1 NS	2,5 NS
Noviembre	-3,6 *	-3,7 **	-4,5 NS	-0,1 NS	-4,1 NS	-4,1 *
Ensilado de hierba						
HOR(1C)	-0,8 NS	-2,2 NS	-1,4 NS	-5,2 NS	0,2 NS	-2,9 NS
Concentrado B1 vs. B2						
Forraje						
Hierba verde						
Marzo	10,6 NS	9,7 NS	10,1 NS	8,6 **	8,3 **	10,2 NS
Abril	5,0 **	4,8 **	7,0 ***	9,5 ***	7,2 ***	5,6 **
Mayo	9,8 **	10,2 **	12,0 **	8,6 *	7,6 *	11,3 **
Junio2	7,4 *	7,1 *	3,9 NS	7,7 NS	6,5 NS	6,8 *
Ensilado de hierba						
HOR(1C)	-11,6 NS	-9,5 NS	-7,3 NS	-15,7 NS	-11,2 NS	-9,9 NS

MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; FNDLC: fibra neutro detergente libre de cenizas; EB: energía bruta.

Junio1: inicio de la experiencia antes del 15 de junio; Junio2: inicio de la experiencia después del 16 de junio; HOR(1C): horizontal primer corte.

***, $p \leq 0,001$; **, $p \leq 0,01$; *, $p \leq 0,05$; NS: $p > 0,05$.

Coefficientes de digestibilidad de los concentrados

Conocidos los valores individuales de digestibilidad de la ración y las proporciones de forraje y concentrado en la misma para cada principio nutritivo, se puede calcular la digestibilidad de cada principio nutritivo del concentrado como:

(Digestibilidad de principio nutritivo en la ración – digestibilidad del forraje × proporción de principio nutritivo procedente del forraje) / Proporción de principio nutritivo procedente del concentrado.

En la Tabla 8 se presentan los coeficientes de digestibilidad por diferencia de diversos principios nutritivos de los tres concentrados B1, B2 y B. No es posible un contraste entre los tres, pero los efectos de la adición de concentrado ponen de manifiesto que, para todos los principios nutritivos considerados, digestibilidad B1 > digestibilidad B2 > digestibilidad B. Esta última no es superior a la de los forrajes de primavera temprana.

Predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica en función de digestibilidad enzimática neutro detergente-celulasa y el porcentaje de rechazos sobre materia seca

Las ecuaciones de regresión entre digestibilidad *in vivo* a nivel de mantenimiento de la materia orgánica de los forrajes ($y = \text{DMO1x}$) y su digestibilidad enzimática neutro detergente-celulasa ($x = \text{DEMO}$) se presentan en la Tabla 9, así como los coeficientes robustos de correlación entre DMO1x , DEMO y pRechazos. Todos resultan altamente significativos. Debido a ello, incluir en una regresión múltiple DEMO y pRechazos conlleva riesgo de sobreajuste. Por tanto, se prescindió de esta última variable, que en un principio se incluyó en la regresión dado que la digestibilidad *in vivo* está afectada por el efecto selectivo del animal y a mayor porcentaje de rechazos, es de esperar un mayor efecto selectivo. De esta manera, se consideró DMO1x como variable dependiente a predecir en función de la DEMO como única variable regresora.

Tabla 8. Coeficientes de digestibilidad por diferencia de diversos principios nutritivos de los concentrados B1, B2 y B (%; media ± error estándar).

Table 8. Nutrient digestibility by difference of the concentrates B1, B2 and B (%; mean ± standard error).

Concentrado	Coeficientes de digestibilidad de					
	MS	MO	PB	FND	FNDLC	EB
B1	78,6 ± 0,53	82,5 ± 0,54	79,6 ± 0,47	76,1 ± 0,34	82,5 ± 0,34	80,4 ± 0,55
B2	71,4 ± 0,07	74,4 ± 0,05	72,3 ± 0,03	73,1 ± 0,03	77,1 ± 0,10	71,2 ± 0,05
B	69,3 ± 0,19	71,5 ± 0,00	70,2 ± 0,03	68,0 ± 0,12	71,9 ± 0,25	70,6 ± 0,00

MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; FNDLC: fibra neutro detergente libre de cenizas; EB: energía bruta.

Tabla 9. Ecuaciones de regresión entre digestibilidad *in vivo* a nivel de mantenimiento de la materia orgánica de los forrajes (y) y su digestibilidad enzimática neutro detergente-celulasa (x).

Table 9. Regression equations between *in vivo* organic matter digestibility at maintenance level (y) and neutral detergent-cellulase organic matter digestibility (x).

Población	Ecuación de regresión	Grados de libertad totales	Iteraciones	Estimador de escala
Muestras normales:	$y = 0,615x + 33,1$	25	5	3,64
Muestras atípicas:	$y = 0,674x + 27,2$	12	1	1,85
Muestras en las que:	$x - \text{FND (\%MS)} < 15$			
	$y = 0,558x + 49,6$	4	1	3,87

FND: fibra neutro detergente.

Las 41 muestras de las que consta la población original quedaron divididas en 28 muestras normales + 13 atípicas. Efectuados los análisis de regresión por separado, se observó que tres muestras normales y una atípica se desviaban de los respectivos modelos ajustados. Las cuatro tenían en común el que la diferencia DEMO – FND era muy pequeña.

Discusión

Composición química de los alimentos evaluados

Las praderas utilizadas en el presente trabajo para los ensayos *in vivo* fueron las mismas que las que dieron origen a los resultados obtenidos por los mismos autores en Martínez-Fernández *et al.* (2008) con vacuno lechero en pastoreo, durante doce años consecutivos. La evolución de la composición química de forraje en oferta por meses del año resultó concordante entre ambos trabajos, así como las diferencias entre ofertas y rechazos. En ambos casos se reveló un efecto selectivo a favor de evitar contaminación por tierra y preferir partes menos fibrosas. Por tanto, si bien es imposible que en pastoreo y en pesbre tengan lugar el mismo efecto selectivo

y la misma ingestión, sí se da un cierto grado de similitud, que permite aprovechar los resultados obtenidos para situaciones de pastoreo real.

En principio las pérdidas de agua por oreo y desprendimiento de materias volátiles en ensilados debería inducir un mayor contenido en MS para los rechazos. No fue siempre así, lo cual resulta explicable por la influencia de la saliva y del agua de bebida derramada.

En lo concerniente a los ensilados, podemos tomar como referencia *The ideal silage* (Chamberlain y Wilkinson, 1996). Entre otras características, deben contener una MS > 30 %; un contenido en PB comprendido entre 15,0 % y 17,5 % MS; un rango de pH = 4,0-4,5; un rango de FND = 50-55 % MS; N amoniacal < 5 % N total; ácido láctico > 8-12 % MS y ácidos grasos volátiles < 2-3 % MS. Teniendo en cuenta estas referencias, los resultados de este trabajo revelan suficiente contenido en PB para el primer corte y ligero déficit para el segundo, sin exceso de FND, un adecuado pH (pero asociado a bajo valor de MS), suficiente ácido láctico, y exceso de ácidos grasos volátiles y N amoniacal. La diferencia entre valores de materia seca por liofilización y por secado en estufa, imputable a los componentes volátiles, concuerda

plenamente con la bibliografía existente (Dulphy y Demarquilly, 1981; Agriculture Development Advisory Service, ADAS, 1985; Haigh, 1995a,b).

El valor de pH, en relación al contenido en MS, revela insuficiente calidad de conservación (Haigh, 1987). Se trata del problema generalizado de deficiente calidad fermentativa de los ensilados de hierba en toda la Cornisa Cantábrica, ya señalado hace tiempo por Menéndez de Luarda y Rodríguez-Lopereña (1978) y que aún persiste (Martínez-Fernández et al., 2014). Más recientemente, Pereira-Crespo et al. (2016) observaron una tendencia a mejorar en el caso de ensilados de las explotaciones lecheras de Galicia.

En cuanto a los concentrados, su composición química coincide razonablemente con la esperada según los bancos de datos españoles: Servicio de Información sobre Alimentos de la Universidad de Córdoba (www.uco.es) y Tablas FEDNA 2019 de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (de Blas et al., 2019).

Digestibilidad in vivo de los alimentos evaluados

La valoración nutricional del forraje de pradera de raigrás inglés y trébol blanco en el arco atlántico español, fue también abordada por investigadores en Galicia (Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo, CIAM), en Cantabria (Instituto de Educación Secundaria de Heras, IES Heras) y en el País Vasco (actual NEIKER).

En el CIAM, Cebrián del Moral (1982) obtuvo para forraje verde de pradera en estudios con ovino, valores de digestibilidad de la materia seca (DMS) de 76,6 %, 72,1 % y 69,4 % durante primavera y 75,7 % y 77,8 % durante otoño; resultados muy concordantes con los de este trabajo, a pesar de tratarse de valores obtenidos con pequeños rumiantes. De he-

cho, el propio INRA ha realizado ensayos con ovino y vacuno indistintamente siguiendo la misma metodología, dada la imposibilidad de disponer siempre de viabilidad para ganado vacuno. En cuanto a la pérdida de digestibilidad en agosto, a pesar de tratarse de una pradera de raigrás inglés y trébol blanco con un 17 % de PB, es necesario mencionar que si bien en verano el raigrás inglés crece poco y se embastece rápidamente, perdiendo digestibilidad por mayor proporción de tallos, no obstante, al hacer menos sombra al trébol blanco posibilita una mayor proporción de este último. De ahí el elevado contenido en proteína, a pesar de la pérdida de digestibilidad.

Para ensilados de hierba en general, los trabajos de Flores-Calvete (2004) y Flores-Calvete et al. (2000 y 2003) obtuvieron un promedio general para DMO de $67,8 \pm 6,78$ %, resultados de nuevo totalmente concordantes con los obtenidos en este trabajo en el SERIDA, con valores de $68,1 \pm 1,37$ % para ensilados en horizontal y $69,7 \pm 0,51$ % para ensilados en rotopacas.

En el IES Heras se efectuaron ensayos de digestibilidad *in vivo* sobre vacuno lechero con metodología similar a la descrita en el presente trabajo, para forraje verde de raigrás inglés y *Trifolium pratense* L. (trébol violeta) (Salcedo, 2011), en los cuales la DMO descendió progresivamente desde 77,4 % en abril hasta 62,4 % en julio y se recuperó durante el otoño (81,1 % en noviembre), en concordancia con los resultados de este trabajo. El hecho de que en nuestro caso se mantuviera más constante la DMO durante primavera se explica por el embastecimiento más rápido característico del trébol violeta con respecto al trébol blanco. Salcedo (2006) también efectuó idéntica experiencia con ensilados, obteniendo valores de DMO de 80,7 %, 70,5 % y 62,5 % para los cortes en encañado, principio de espigado y espigado, respectivamente. Los valores de DEMO fueron muy similares a los

de DMO, concordantes con los resultados obtenidos. Así mismo, los actuales resultados están en sintonía con los obtenidos sobre ovino por de la Roza-Delgado et al. (2007) para ensilados horizontales y en rotopacas sobre estas mismas praderas.

Todo ello pone de relieve que la digestibilidad de la hierba de primavera es muy elevada y está próxima a la de los concentrados. La pérdida que experimenta al llegar el verano se revela como el factor más limitante para la alimentación del vacuno de leche en base a la pradera de *Lolium perenne-Trifolium repens* de la zona costera de Asturias.

A nivel de Europa, similares resultados a los obtenidos en este trabajo fueron reportados por Givens et al. (1989) en el Reino Unido. De acuerdo con los resultados obtenidos en Irlanda (MacCarthy, 1984; Brereton et al., 1994), la pérdida de digestibilidad en verano podría evitarse mediante reducción de la altura de rechazos por debajo de 6 cm en los últimos aprovechamientos de primavera. Chamberlain y Wilkinson (1996) también recomiendan una altura de rechazos inferior a 5 cm. Faverdin et al. (2018b), en su capítulo dedicado a vacuno lechero en pastoreo, incluyen alturas de rechazos entre 4 cm y 10 cm. El promedio anual de nuestras praderas tras 12 años de ensayos (Martínez-Fernández et al., 2008) está dentro de dicho rango. De cualquier forma, la fuerte pendiente en casi la mitad de las parcelas y el pisoteo sobre un terreno blando e irregular dificultan el mantener constante la altura del pasto e incluso, con frecuencia, lo imposibilitan, hechos que impiden reducir la caída de digestibilidad en agosto.

Es de resaltar la elevada digestibilidad de la FND de los forrajes verdes, similar a la de la MO y totalmente concordante con los resultados obtenidos por de la Roza-Delgado et al. (2007) sobre estas mismas praderas con ovino, en los que la DFND resultó del 80 %, coincidente con la obtenida en este estudio sobre vacuno. Al respecto, es preciso tener

en cuenta que la digestibilidad de la pared celular es real y no aparente. Esta última, afectada por las secreciones endógenas, es menor (Van Soest, 1964). Las cenizas insolubles de la FND aumentan por contaminación por tierra en otoño y, por ser totalmente indigestibles, inducen sensibles diferencias entre DFND y DFNDLC.

Relación entre las determinaciones de laboratorio y los parámetros nutricionales in vivo

La sistemática de valoración de alimentos empleada en el Laboratorio de Nutrición del SERIDA permite identificar muestras atípicas con suficiente seguridad. Se trata de un laboratorio acreditado bajo la Norma ISO/IEC 17025 LE/930.

Como se ha indicado, las ecuaciones de predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica en función de digestibilidad enzimática neutro detergente-celulasa pusieron de manifiesto la existencia de tres muestras que se no ajustaban al modelo. Una explicación plausible para la existencia de esas muestras, bien identificables por presentar muy poca diferencia entre los valores de DEMO y de FND, probablemente sea debido que al tratarse de forrajes verdes cuya FND contiene mucha hemicelulosa y dado que hay evidencias en ensayos sobre ovino con hierba verde y ensilados similares de que la digestibilidad *in vivo* de la hemicelulosa resulta superior a la de la FND (de la Roza-Delgado et al., 2007), puede ser probable que la solución enzimática de *Trichoderma viridae* empleada para determinar la DEMO a nivel laboratorial no tenga suficiente actividad hemicelulásica para mantener la ratio de digestibilidad *in vivo* /digestibilidad enzimática en esas muestras. Debido a ello, las muestras con mayor contenido en hemicelulosa se comportan diferentes al resto. El hecho de que no ha quedado incluido ningún ensilado en el con-

junto de muestras con un comportamiento atípico resulta concordante con que las hemicelulosas son parcialmente fermentables por la microflora epifita. La determinación de fibra ácido detergente (FAD) y el cálculo de la hemicelulosa, de acuerdo con Van Soest = FND – FAD (ambas libres de cenizas), serviría para confirmar nuestra hipótesis.

La precisión obtenida, según el estimador de escala resultante, es aceptable y concuerda con las observaciones de Givens *et al.* (1990), de la Roza-Delgado (1991), Flores-Calvete (2004) y otros muchos trabajos.

Conclusiones

Las diferencias en la composición química de ofertas y rechazos revelan un efecto selectivo a favor de partes menos fibrosas y menos contaminadas con tierra.

Se observa una elevada estacionalidad de la composición química de la hierba en oferta, para todos los principios nutritivos, como es habitual en el Arco Atlántico, lo que se traduce en la variación estacional de las digestibilidades de los principios nutritivos, que son máximas en primavera, mínimas en verano y se recuperan durante el otoño hasta alcanzar el valor de primavera. Esta pérdida que experimenta al llegar el verano se revela como el factor más limitante para la alimentación del vacuno de leche en base a la pradera de *Lolium perenne-Trifolium repens* de la Cornisa Cantábrica. En consecuencia, las explotaciones con pastoreo deben caracterizar en detalle el manejo alimentario y la dieta consumida para las distintas épocas del año por las vacas. Esas digestibilidades fueron muy similares a las de los concentrados ricos en almidón durante primavera y otoño tardío, pero inferiores durante verano y otoño temprano.

No hubo diferencias de digestibilidad entre los ensilados de pradera de primero y segundo

cortes, lo que permite estandarizar mejor la alimentación de la explotación al tratarse de un alimento conservado.

Se puede predecir la digestibilidad de la hierba y sus ensilados del Arco Atlántico con precisión aceptable, mediante solubilidad enzimática con celulasa a nivel laboratorial, tomando la precaución de identificar muestras atípicas, lo que evita la necesidad de realizar ensayos *in vivo* para determinar la digestibilidad de los principios nutritivos de los forrajes.

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, 2020).

A Alfonso Carballal Samalea, la labor informática que llevó a cabo. Y a todo el personal de campo de la Unidad de Producción de Leche y Nave Metabólica, así como al Laboratorio de Nutrición Animal, la ejecución de las labores agroganaderas y de análisis de muestras.

Referencias bibliográficas

- ADAS (1985). Technical Bulletin 85/107. Changes in silages evaluation. Agriculture Development Advisory Service. Her Majesty's Stationery Office. London. Great Britain. 4 pp.
- ARC (1980). The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock: Technical Review. Ed. Agricultural Research Council. Great Britain. 351 pp.

- Blanco-Panedo I, Sjöström K, Jones P, Krieger M, Duval J, van Soest F, Sundrum A, Emanuelson U (2019). Structural characteristics of organic dairy farms in four European countries and their association with the implementation of animal health plans. *Agricultural Systems* 173: 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.008>.
- Blaxter KL (1969). The Efficiency of Energy Transformations in Ruminants. En: *Energy Metabolism of Farm Animals. Proceedings of the 4th Symposium (1967)* (Ed. Blaxter KL, Kielanowsky J and Thorbek GA.), pp. 21-28. Oriel Press Ltd., New Castle upon Tyne, England, United Kingdom.
- Brereton A, McGilloway D, Stakelum G (1994). Grazing management dairying. En: *Dairying Improving the Competitive Edge* (Ed. Murphy J, Crosse S, O'Farrell), pp. 22-24. Teagasc, Moorepark, Ireland, United Kingdom.
- Chamberlain AT, Wilkinson JM (1996). Chapter 2: Grass En: *Feeding the Dairy Cow* (Ed. Chamberlain AT, Wilkinson JM), pp 11-30. Chalcombe Publications, Painshall, Church Lane, Welton, Lincoln, LN2, 3LT, United Kingdom.
- Cebrián del Moral MM (1982). Estudio del valor nutritivo en una pradera mixta: variaciones en digestibilidad e ingestión. *Pastos* 12: 119-133.
- 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 (4^a edición). Ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid (España). 604 pp.
- Dulphy JR, Demarquilly C (1981). Problèmes particuliers aux silages. En: *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants* (Ed. Demarquilly D, Andrieu j, Wegat-Litre E), pp. 81-104. INRA Publications, Versailles, France.
- Faverdin P, Baumont R, Boval M, Agabriel J, Delagarde R (2018a). Chapitre 2: Les apports alimentaires et en nutriments. En: INRA, 2018. *Alimentation des ruminants* (Ed. Nozière P, Sauvant D, Delaby L), pp. 34-46. Éditions Quae, Versailles Cedex. France.
- Faverdin P, Delagarde R, Lemosquet S, Boudon A, Delaby L (2018b). Chapitre 17 : Vaches laitières. En: INRA, 2018. *Alimentation des ruminants* (Ed. Nozière P, Sauvant D, Delaby L), pp. 274-314. Éditions Quae, Versailles, France.
- Flores-Calvete G, Amor-Fernández J, Resch-Zafra C, González-Arráez E (2000). Valor nutritivo del ensilaje de hierba en las explotaciones ganaderas de Galicia. *Pastos* 30: 149-191.
- Flores-Calvete G, González-Arráez E, Castro-González J, Castro-García P, Cardelle-Campos M, Fernández-Lorenzo B y Valladares J (2003). Evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de ensilajes de hierba y planta entera de maíz. *Pastos* 33: 5-99.
- Flores-Calvete G (2004). Factores que afectan a la calidad del ensilaje de hierba y a la planta de maíz forrajero en Galicia. Evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de los forrajes ensilados. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. 315 pp.
- Givens DI, Everington JM, Adamson AH (1989). The nutritive value of spring-grown herbage produced on farms throughout England and Wales over four years. I. The effect of stage of maturity and other factors on chemical composition, apparent digestibility and energy values measured *in vivo*. *Animal Feed Science and Technology* 27: 157-172. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401\(89\)90140-5](http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401(89)90140-5).
- Givens DI, Everington JM, Adamson AH (1990). The nutritive value of spring-grown herbage produced on farms throughout England and Wales over 4 years. II. The prediction of apparent digestibility *in vivo* from various laboratory measurements. *Animal Feed Science and Technology* 27: 173-184. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401\(90\)90080-R](http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401(90)90080-R).
- Haigh PM (1987). The effect of dry matter content and silages additives on the fermentation of grass silages on commercial farms. *Grass and Forage Science* 42: 1-8. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2494.1987.tb02084.x>.
- Haigh PM (1995a). A note on the relationship between oven and toluene determined dry matter

- concentrations in bunker-made grass silages. Irish Journal of Agricultural and Food Research 34: 63-67.
- Haigh PM (1995b). A note on the relationship between oven and toluene determined dry matter concentrations in big bale grass silages. Irish Journal of Agricultural and Food Research 34: 189-191.
- Mair R, Wilcox P (2018). Robust statistical methods using WRS2. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/WRS2/vignettes/WRS2.pdf> (Consultado: octubre 2020).
- Martínez-Fernández A, de la Roza-Delgado B, Modroño-Lozano MS, 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 28: 187-224.
- MacCarthy D (1984). Milk production from grassland. En: Moorepark 25th Anniversary Publication. Part I: Milk Production (Ed. J. O Shea), pp. 3-67. Dairy Husbandry Department, Moorepark Research Centre, Fermoy, Co. Cork, Ireland.
- Martínez-Fernández A, Argamentería A, de la Roza Delgado B (2014). Manejo de forrajes para ensilar. Ed. SERIDA, Villaviciosa, España. 280 pp.
- Menéndez de Lúcar S, Rodríguez-Loperena MA (1978). Calidad de ensilados de pradera en el Norte de España. Pastos: 141-149.
- Pereira-Crespo S, Lorenzana R, Barreal M, Rodríguez M y Flores-Calvete G (2016). Calidad de los ensilados de hierba y maíz en las explotaciones lecheras gallegas. 55^a Reunión científica de la SEEP. Innovación Sostenible en Pastos: hacia una Agricultura de Respuesta al Cambio Climático, 26-29 de abril, Lugo, A Coruña, España, pp. 67.
- 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: abril 2020)
- Riveros E, Argamentería A (1987). Métodos enzimáticos de predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de forrajes. I. Forrajes verdes. Avances en Producción Animal 12: 49-58.
- De la Roza-Delgado B (1991). Diseño y comparación de técnicas de laboratorio para predicción de digestibilidad *in vivo* de forrajes. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. 217 pp.
- 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: 203-227.
- Salcedo G (2006). Relationship between *in vivo* digestibility and *in situ* degradability of grass silage. Proceedings of 21th General Meeting of the European Grassland Federation. Sustainable Grassland Productivity, 3-6 de abril, Badajoz, España, pp. 511-513.
- Salcedo G (2011). Relationship between *in vivo* digestibility and *in situ* degradability of the grass in grazing. Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation. Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions, 29-31 August 2017, Raumberg-Gumpenstein, Austria, pp. 88-90.
- Servicio de Información sobre Alimentos de la Universidad de Córdoba (SIA) (2020). Disponible en: <http://www.uco.es/sia/en/index.php> (Consultado: 1 de abril 2020).
- Van Soest PJ (1964). Symposium on nutrition and forages and pastures: new chemical procedures for quality forages. Journal of Animal Science 23: 838-845. <http://dx.doi.org/10.2527/jas1964.233838x>.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991). Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74: 3583-3597. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).

(Aceptado para publicación el 16 de abril de 2021)