



Triticale



Centeno



DDRR



Trigo



Cebada

PRODUCCIÓN, CONTENIDO EN PRINCIPIOS NUTRITIVOS Y COMPOSICIÓN EN ÁCIDOS GRASOS DE SEIS CEREALES DE INVIERNO UTILIZADOS COMO FORRAJE

Presento la investigación realizada con base en la influencia de la fecha de corte de cinco cereales grano utilizados para forraje (cebada, avena, centeno, triticale y trigo) y un triticale tetraploide con genotipo DD RR sobre la producción de biomasa, contenido en principios nutritivos, antinutritivos (nitratos) y el perfil de ácidos grasos en condiciones de clima atlántico.

G. Salcedo

Dpto. de Calidad e Innovación del CIFP La Granja, 39792 Heras (Cantabria)
gregoriosalce@ono.com

RESUMEN

El objetivo de este experimento fue comparar la producción de biomasa, el contenido en principios nutritivos, antinutritivos y de ácidos grasos de seis cereales de invierno para forraje, a lo largo del primer ciclo de crecimiento hasta la recolección para ensilado a mediados de abril. Los cereales empleados fueron avena (*Avena sativa* L., cv. Prevision), cebada (*Hordeum vulgare* L., cv. Meseta), centeno (*Secale cereale* L., cv. Galma), triticale (xTriticosecale *Wittmack*, cv. Titania), trigo (*Triticum aestivum* L., cv. Paledor) y triticale tetraploide de nueva generación con genotipo

DDRR (TgDDRR). La materia seca acumulada al 17 de abril (175 días de crecimiento) en el conjunto de forrajes fue 7640 ± 729 kg hectárea, con máximos en la avena (8564 ± 331 kg) y la menor, 6835 ± 198 kg en centeno. El efecto cereal, la fecha de corte y la interacción resultaron significativos para la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica estimada, la proteína bruta, la fibra ácido y neutro detergente y la grasa bruta. La concentración mayor de AGs entre cereales al momento de la recolección para el láurico fue la avena ($0,17 \pm 0,03$ g kg⁻¹ MS); el mirístico en centeno ($0,43 \pm 0,02$ g kg⁻¹ MS); el palmítico en centeno ($3,14 \pm 0,83$ g kg⁻¹ MS); el palmitoleico en avena ($0,14 \pm 0,017$ g kg⁻¹ MS); el esteárico en avena ($0,55 \pm 0,06$ g kg⁻¹ MS); el oleico en centeno ($0,65 \pm 0,02$ g kg⁻¹ MS); el linoleico en TgDDRR ($1,03 \pm 0,15$ g kg⁻¹ MS) y en centeno el linolénico con ($5,02 \pm 0,11$ g kg⁻¹ MS).

LOS CEREALES PARA FORRAJE FUERON AMPLIAMENTE ESTUDIADOS DESDE LOS ASPECTOS PRODUCTIVOS Y NUTRITIVOS, PERO SON ESCASOS LOS REFERENTES AL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN TRITICALE

INTRODUCCIÓN

La sucesión de cultivos en la mayoría de las explotaciones lecheras del norte de España es la formada por maíz como cultivo principal y raigrás italiano en invierno. A diferencia del raigrás italiano alternativo, los cereales de invierno proporcionan un margen de tiempo superior para la preparación del terreno, fertilización y siembra. En los últimos años se observa entre los ganaderos un interés creciente por otros cultivos de invierno alternativos al raigrás italiano, como las asociaciones de cereal x leguminosas o el monocultivo de cereal (Salcedo, 2011a). El coste que representa realizar dos aprovechamientos para ensilar, la pérdida de proteína y el riesgo de encamado con un solo corte a finales de abril (Flores *et al.*, 2003) constituyen un cierto riesgo al sistema forrajero de la explotación. Los requerimientos de un cultivo de invierno alternativo son los de permitir un solo aprovechamiento, con tiempo suficiente para sembrar el maíz, valor nutritivo apropiado, que compense el bajo valor proteico del maíz y los rendimientos sean comparables o superiores a los del raigrás italiano. Esta situación

implica recolectar la gramínea en estados inmaduros, con cambios importantes en el contenido de principios nutritivos y de rendimiento por unidad de superficie.

La madurez de las gramíneas y los cereales en particular conlleva entre otros aspectos, variaciones morfológicas como la relación hoja/tallo (Juskiw *et al.*, 2000; Ghanbari-Bonjar, 2000); altura de la planta (El-Shatnawi *et al.*, 2003; Bilgili *et al.*, 2009); aumentos de biomasa (Eskandari *et al.*, 2009; Rosser *et al.*, 2013) y disminución del valor nutritivo (Eskandari *et al.*, 2009). A su vez, dichas variaciones se ven influenciadas por el tipo de cereal (Zeki *et al.*, 2006); la fecha de siembra (Pereira-Crespo *et al.*, 2010); si se asocia o no a leguminosas (Ghanbari-Bonjar, 2000; Carr *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2003; Salcedo, 2011a); la variedad (Carr *et al.*, 2004; Pereira-Crespo *et al.*, 2010) y la fertilización (Llera *et al.*, 2012).

Desde una perspectiva animal, los cereales para forraje han sido ampliamente estudiados desde los aspectos productivos y nutritivos, pero son escasos los referentes al perfil de ácidos grasos [Clapham *et al.* (2005) y Salcedo *et al.* (2014)] en triticale. Entre otros factores, el contenido en ácidos grasos de los forrajes puede variar con la especie, la variedad, la técnica de conservación (Dewhurst *et al.*, 2002; Boufaïed *et al.*, 2003), el estado de madurez (Hawke, 1973; Boufaïed *et al.*, 2003), diferencias entre las hojas y tallos (Boufaïed *et al.*, 2003), la temperatura ambiente (Hawke, 1973) y la fertilización nitrogenada (Boufaïed *et al.*, 2003; Elgersma *et al.*, 2005 y Salcedo, 2011a), etc. »

CENTENOS HÍBRIDOS KWS
un excelente forraje

- Los Centenos Híbridos KWS son un excelente forraje de alta producción, especialmente adaptados a los terrenos ácidos de Galicia, la Cornisa Cantábrica y Portugal. Fáciles de ensilar, tanto en zanjas, como en chorizos o bolas.
- Tienen una buena Digestibilidad y unos niveles de Proteína y Energía, en muchos casos, mejores que el Raigrás para la misma fecha de siega debido a su ciclo más largo.
- ¿Necesita más información?
Contacte con nosotros y podremos ayudarle.

www.kws.es

KWS
SEMBRANDO
EL FUTURO
DESDE 1856

MATERIAL Y MÉTODOS

Situación y diseño experimental

El experimento fue desarrollado en el Centro Integrado de Formación Profesional La Granja, Heras, Cantabria (43° 24'N; 3° 45'W y a 5 m sobre el nivel del mar) durante los años 2011 y 2012. Los tratamientos a evaluar fueron seis cereales de invierno utilizados para forraje y cosechados en cuatro momentos durante su ciclo de crecimiento invernal, dispuestos en un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. Los cereales cultivados fueron avena (*Avena sativa* L., cv. Prevision), cebada (*Hordeum vulgare* L., cv. Meseta), centeno (*Secale cereale* L., cv. Galma), triticale (xTriticosecale Wittmack, cv. Titania), trigo (*Triticum aestivum* L., cv. Paledor) y triticale con genotipo DDRR (TgDDRR) no comercial. Los resultados del TgDDRR corresponden a la media de las líneas (TS₄₃ y TS₅₂) del año 2011 y (TS₁, TS₄₂ y TS₄₉) en 2012, según un diseño experimental de bloques al azar y paralelo al experimento de cereales tradicionales. La tabla 1 señala la fecha de muestreo, días desde la siembra y estados de crecimiento de cada cereal (Zadok *et al.*, 1974).

Las temperaturas mínimas, máximas y pluviometría durante el experimento fueron proporcionadas por la Agencia Estatal de Meteorología de Cantabria y representadas en la figura 1.

Suelo

La textura del suelo según la clasificación USDA es francoarcillosa. Los cereales fueron siempre sembrados en el mismo suelo en sucesión con maíz. El análisis del suelo a 20 cm de profundidad corresponde a un suelo ligeramente ácido (pH, 5,7); bajo en materia orgánica oxidable, 0,95%; contenidos normales de N, 0,17%; pobre en P asimilable (Bray), 6,59 ppm; Ca, 855 ppm; Mg, 94 ppm; K, 87 ppm y baja capacidad de intercambio catiónico, 16,3 mq 100⁻¹ g suelo.

Operaciones de cultivo

La preparación del terreno consistió en dos pases cruzados de grada de discos y uno de fresadora. La semilla del triticale tetraploide con genotipo DDRR proporcionada por Agrasys fue tratada con triticonazol 25 p/v, mientras que la cebada, avena, centeno, trigo y triticale proporcionadas por la Cooperativa Agrocantabria ya venían tratadas. La fertilización de fondo consistió en la aplicación de 45 kg de N-P₂O₅-K₂O hectárea y año. La siembra se realizó con sembradora a chorrillo a la dosis de 200 kg de semilla por hectárea el 27 y 21 de octubre de 2010 y de 2011 respectivamente. Posterior a la siembra, se pasó un rodillo *culti-packer* para nivelar el terreno, favorecer la germinación y minimizar la posible contaminación por tierra del forraje durante los muestreos. El fertilizante nitrogenado de cobertera (NAC del 27 % de N) fue aplicado al estado del primer macollo (Zadok Estado de Crecimiento 21, Zadok *et al.*, 1974) los días 14 y 11 de enero de los años 2010 y 2011 a la dosis de 25 kg N ha⁻¹.

Figura 1. Temperaturas y precipitaciones durante el experimento

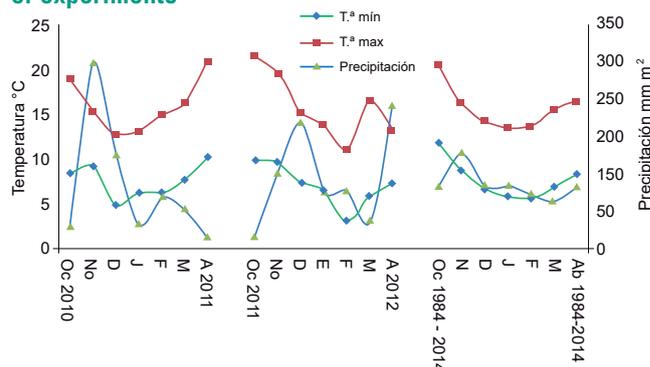


Tabla 1. Fechas de muestreo y estados de madurez

Fecha muestreo	Días ¹	Cereal	Año 2011	Año 2012
08-02-2011 y 30-01-2012	109 y 94	Cebada Avena Centeno Triticale Trigo DDRR	Tercer macollo (23) ¹ Tercer macollo (23) Segundo macollo (22) Cuarto macollo (24) Tercer macollo (23) Primer macollo (21)	Primer macollo (21) Primer macollo (21) Primer macollo (21) Tercer macollo (23) Segundo macollo (22) Primer macollo (21)
22-02-2011 y 22-02-2012	123 y 117	Cebada Avena Centeno Triticale Trigo DDRR	Segundo nudo detectable (32) Tercer nudo detectable (33) Primer nudo detectable (31) Segundo nudo detectable (32) Tercer nudo detectable (33) Cuarto nudo detectable (34)	Tercer nudo detectable (33) Segundo nudo detectable (32) Segundo nudo detectable (32) Segundo nudo detectable (32) Tercer nudo detectable (33) Quinto nudo detectable (35)
18-03-2011 y 13-03-2012	149 y 138	Cebada Avena Centeno Triticale Trigo DDRR	Hoja bandera expandida (39) Vaina hoja bandera inicio ensanchado (41) Vaina hoja bandera inicio ensanchado (41) Vaina hoja bandera inicio ensanchado (41) Vaina hoja bandera abriéndose (47) Vaina hoja bandera abriéndose (47)	Hoja bandera expandida (39) Vaina hoja bandera inicio ensanchado (43) Vaina hoja bandera abriéndose (47) Vaina hoja bandera abriéndose (47) Vaina hoja bandera abriéndose (47) Primeras aristas encima de la vaina (49)
08-04-2011 y 24-04-2012	170 y 179	Cebada Avena Centeno Triticale Trigo DDRR	Primeras espiguillas visibles (51) ¼ espiga emergida (53) Primeras aristas visibles (49) Primeras aristas visibles (49) ½ espiga emergida (55) ¾ espiga emergida (57)	¼ espiga emergida (53) ½ espiga emergida (55) Primeras espiguillas visibles (51) Primeras aristas visibles (49) ½ espiga emergida (53) Emergencia completa (59)

¹: desde la siembra. Entre paréntesis, estados de crecimiento, Zadok *et al.* (1974)

Mediciones experimentales

La superficie de la parcela experimental fue de 5 x 5 m y la útil (zona de muestreo) de 4 x 4 m, asignándose un m² para cada una de las cuatro fechas de corte estudiadas (tabla 1). Dicha superficie fue segada con una barra guadañadora (BCS, tipo BF80/175) de 1 m de corte a 5 cm del suelo, anotándose el peso del forraje posteriormente. La decisión de la fecha del último aprovechamiento fue de carácter nutricional; de una parte, la mayor acumulación de biomasa favorece un mayor grado de lignificación en los tallos, reduciéndose la digestibilidad de la planta y de otra, la preparación posterior del terreno para la siembra de maíz, como el cultivo más importante de la sucesión. >>>

Dentro de cada parcela y cada cereal se tomaron alícuotas de aproximadamente 3.500 g de forraje, de los cuales 100 g sirvieron para determinar la materia seca en estufa a 60 °C durante 48 horas para estimar la producción de materia seca por hectárea; 700 g fueron secados de igual forma, molidos a 1 mm con un molino Retsch y conservados en contenedores de plástico herméticos de 250 ml para su posterior análisis de principios nutritivos y antinutritivos (NO_3^-). Los 2.700 g restantes fueron congelados a -20 °C inmediatamente. Posteriormente, los cereales fueron descongelados, secados y molidos de igual manera para la determinación de su contenido en ácidos grasos.

Otras determinaciones de los cereales procedentes de la siega de 1,0 x 0,1 fueron la altura de la planta (cm), el estado de madurez (Zadok *et al.*, 1974) y las fracciones morfológicas (hojas y tallos) en porcentaje sobre materia seca; la relación hoja/tallo en porcentaje sobre forraje seco. La separación de hojas y tallos (incluidas las vainas) se llevó a cabo manualmente, tomándose alícuotas para determinar sus contenidos en materia seca y proteína bruta.

Análisis químico

El análisis de principios nutritivos consistió en la determinación de la materia seca final a 103 °C y cenizas a 550 °C; la proteína bruta (PB) como N-Kjeldahl x 6,25 con el KjeltectTM 2300 de TECATOR; la fibra ácido detergente (FAD) según Goering y Van Soest (1970) utilizando extractor Dosifiber de SELECTA. La fibra neutro detergente (FND) y su digestibilidad neutro detergente-celulosa de la materia orgánica (De) según Riveros y Argamentería (1987), estimándose la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (Do), calculándose a partir de esta última la materia orgánica digestible (MOD). Los principios nutritivos fueron analizados en el Laboratorio de Nutrición Animal del CIFP La Granja.

Las concentraciones de Ca, Mg y K se analizaron a partir de la mineralización de la muestra y sobre sus cenizas por espectrofotometría de absorción atómica (emisión atómica en el caso del potasio) con el espectrofotómetro de Absorción AA-6300, Shimadzu. El fósforo a partir de la mineralización de la muestra a cenizas y su determinación mediante el método colorimétrico del complejo amarillo del fosfomolibdovanadato con un espectrofotómetro UV-4200, ZuZi (MAPA, 1994).

El contenido de nitratos se determinó por cromatografía líquida utilizando una columna de intercambio iónico y un detector de ultravioleta a una longitud de onda de 204 nm, previa extracción en agua caliente tratada con acetonitrilo, para eliminar sustancias interferentes. La grasa bruta (GB) se extrajo con éter de petróleo 40-60 °C con un SoxhletTM de TECATOR. Ambas determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio Agroalimentario de Santander del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Análisis de ácidos grasos

La preparación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos de la materia grasa de los forrajes se siguió la Norma ISO 15885/FIL 184:2002 en el Laboratorio Agroalimentario

de Santander del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. La separación y cuantificación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos se efectuó con un cromatógrafo de gases Autosystem XL de Perkin Elmer, equipado con una columna capilar de sílica fundida (Chrompack CP-SIL 88, de 50 metros, 0,25 mm de diámetro interno y 0,20 μm de espesor de la fase estacionaria). El volumen de inyección fue de 1 μL y el gas portador helio, a un flujo de 1,15 mL/minuto. El modo de inyección fue Split a una relación 1:42,5 y la temperatura del inyector, 275 °C. La del horno se programó de 50 °C a 190 °C.

Cálculos

El cociente $K/(Ca+Mg)$ señalado por Kemp y t'Hart (1957) fue usado para estimar el potencial hipomagnésico. El valor relativo forrajero (VRF) según Dunham (1998) fue determinado a partir de las estimaciones de la materia seca digestible (DMS) e ingesta de materia seca (IMS) según las ecuaciones: (i) $\text{DMS (\% MS)} = 99,0 - (0,779 \times \% \text{FAD})$; (ii) $\text{IMS (\% peso vivo)} = 120 \div \% \text{FND}$ y $\text{VRF} = (\text{DMS} \times \text{IMS}) \div 1,29$.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza. Los factores fijos incluidos en el modelo fueron el cereal, la fecha de corte y la interacción Cereal x fecha de corte y el año, como efecto aleatorio con el Modelo Lineal Mixto (SPSS 15.0). La justificación de incluir los dos diseños experimentales en uno solo fue debido a la pequeña variación del efecto aleatorio bloque. Los efectos lineal y cuadrático de los componentes morfológicos del forraje, producción, principios nutritivos y perfil de ácidos grasos se establecieron mediante contrastes ortogonales con el paquete estadístico (SPSS 15.0).

RESULTADOS

Producción de biomasa y composición morfológica de los cereales

La producción de materia seca fue diferente entre cereales, fecha de corte y su interacción (tabla 2), aumentando linealmente con la madurez ($P \leq 0,001$). La biomasa final acumulada al 17 de abril (175 días de crecimiento) en el conjunto de cereales fue 7640 ± 729 kg MS hectárea, con máximos de 8564 ± 331 kg en la avena y mínimos de 6835 ± 198 kg en centeno. En general, estas producciones representan aumentos de 114 kg de materia seca hectárea y día a partir del 1 de enero para el conjunto de cereales, con mínimos de 103 kg en el centeno y máximos de 128 kg la avena.

El porcentaje medio de hojas y tallos hasta el 16 de marzo (fases vegetativas) fue del $66,9 \pm 16$ % y 33 ± 16 % respectivamente y diferentes entre cereales, fechas de corte y la interacción ($P \leq 0,001$), disminuyendo el de hojas y aumentando el de tallos linealmente ($P \leq 0,001$) con el avance de la madurez (tabla 2). Por el contrario, al inicio de la fase reproductiva (17 abril, Estado de Crecimiento 53, Zadok *et al.*, 1974) el porcentaje de hojas disminuyó hasta el $30,4 \pm 5,2$ %, incrementándose hasta $53,3 \pm 6,6$ % y $16,2 \pm 5,2$ % el de tallos y espigas respectivamente. >>

Tabla 2. Producción de biomasa y composición morfológica de los cereales

Zadok <i>et al.</i> (1974)	Fecha de corte				Media por forraje	Efecto	
	1 Fb	22 Fb	16 Mz	17 Ab		L	Q
Cebada	22	32,5	39	52	36,4	***	***
Avena	22	32,5	42	54	37,6	***	*
Centeno	21,5	32,5	44	50	37	***	***
Triticale	23,5	32	44	51	37,6	***	ns
Trigo	22,5	33	47	54	39,1	***	***
TgDDRR	21	34,5	48	58	40,4	***	***
Media por corte	22	32,8	44	53	38		
	<i>d.m.s.: cereal, 0,75</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 0,66</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 0,66</i>		
MS, kg ha ⁻¹	1 Fb	22 Fb	16 Mz	17 Ab	Media por forraje	L	Q
Cebada	835	1736	3927	7548	3512	***	***
Avena	1349	2715	4578	8564	4302	***	***
Centeno	783	1270	3548	6835	3109	***	***
Triticale	1788	3087	4676	7713	4316	***	ns
Trigo	1037	1902	3909	7759	3652	***	***
TgDDRR	1981	3302	4383	7421	4256	***	***
Media por corte	1295	2335	4170	7640	3860		
	<i>d.m.s.: cereal, 344</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 303</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 529</i>		
Hojas, %							
Cebada	83,4	76,0	50,7	29,5	59,9	***	ns
Avena	86,5	78,2	53,9	35,6	63,5	***	ns
Centeno	83,7	74,2	51,1	38,1	61,9	***	***
Triticale	84,7	76,9	46,5	26,1	59,5	***	ns
Trigo	81,8	75,4	42,1	25,0	56,1	***	***
TgDDRR	81,4	51,8	35,8	28,1	46,4	***	***
Media por corte	81,4	72,1	46,7	30,4	57,7		
	<i>d.m.s.: cereal, 1,6</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 1,4</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 2,4</i>		
Tallos, %							
Cebada	16,6	23,9	49,3	57,7	36,8	***	*
Avena	13,4	21,7	46,1	46,3	31,9	***	***
Centeno	16,2	25,2	48,3	50,1	35,1	***	***
Triticale	15,2	23,1	53,4	63,2	38,7	***	***
Trigo	18,2	24,5	57,8	55,5	39,0	***	***
TgDDRR	29,1	48,1	64,1	47,2	47,1	***	***
Media por corte	18,1	27,7	53,1	53,3	39,1		
	<i>d.m.s.: cereal, 1,8</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 1,6</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 2,9</i>		
Espigas, %							
Cebada				12,7		-	-
Avena				18,0		-	-
Centeno				11,7		-	-
Triticale				10,6		-	-
Trigo				19,4		-	-
TgDDRR				24,7		-	-
Media por corte				16,2			
	<i>d.m.s.: cereal, 2,13</i>						
PB hojas, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	354	272	207	168	250	***	*
Avena	253	205	190	177	206	***	***
Centeno	321	253	186	165	231	***	*
Triticale	302	253	186	165	226	***	ns
Trigo	295	231	219	187	233	***	**
TgDDRR	318	292	247	167	256	***	***

LOS FACTORES FIJOS INCLUIDOS EN EL MODELO FUERON EL CEREAL, LA FECHA DE CORTE Y LA INTERACCIÓN CEREAL X FECHA CORTE Y EL AÑO, COMO EFECTO ALEATORIO CON EL MODELO LINEAL MIXTO (SPSS 15.0)

Media por corte	307	251	205	171	234		
	<i>d.m.s.: cereal, 12,7</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 11,2</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 19,5</i>		
PB tallos, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	167	144	123	88	130	***	***
Avena	159	147	129	117	138	***	ns
Centeno	161	147	125	115	137	***	ns
Triticale	159	142	118	109	132	***	ns
Trigo	150	130	119	109	132	***	ns
TgDDRR	209	174	106	88	123	***	ns
Media por corte	167	147	120	104	134		
	<i>d.m.s.: cereal, 7,01</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 6,16</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 10,8</i>		
PB espigas, g kg ⁻¹ MS							
Cebada				84,5		-	-
Avena				107		-	-
Centeno				98,6		-	-
Triticale				96		-	-
Trigo				92,6		-	-
TgDDRR				109		-	-
Media por corte				98			
	<i>d.m.s.: cereal, 10,8</i>						
Altura planta, cm							
Cebada	18,8	37,2	50,7	69,3	44	***	ns
Avena	28,9	46,3	61	99,4	58,9	***	*
Centeno	18,6	34,5	51,3	88,3	48,2	***	***
Triticale	29,1	49	62	83	55,8	***	ns
Trigo	28,3	42,8	56,3	69,3	49,2	***	***
TgDDRR	36,3	61,5	73,4	81	63	***	***
Media por corte	26,7	45,2	59,1	81,7	53,2		
	<i>d.m.s.: cereal, 3,1</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 2,8</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 4,8</i>		
Hojas/Tallos							
Cebada	5,06	3,18	1,10	0,52	2,46	***	***
Avena	6,5	3,6	1,17	0,76	3,01	***	***
Centeno	5,17	2,97	1,05	0,77	2,49	***	***
Triticale	5,56	3,33	0,87	0,41	2,54	***	***
Trigo	4,51	3,08	0,73	0,45	2,19	***	***
TgDDRR	2,43	1,07	0,56	0,59	1,16	***	***
Media por corte	4,87	2,87	0,91	0,58	2,31		
	<i>d.m.s.: cereal, 0,15</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 0,13</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 0,24</i>		
Nivel de significación	Cereal		Fecha de corte		Cereal x fecha de corte		
Zadok <i>et al.</i> (1974)	***		***		***		
MS, kg ha ⁻¹	***		***		***		
Hojas, %	***		***		***		
Tallos, %	***		***		***		
Espigas, %	***		-		-		
PB hojas, g kg ⁻¹ MS	***		***		***		
PB tallos, g kg ⁻¹ MS	***		***		***		
PB espigas, g kg ⁻¹ MS	***		-		-		
Altura planta, cm	***		***		***		
Hojas/Tallos	***		***		***		

MS = materia seca; PB = proteína bruta; d.m.s.: diferencia mínima significativa entre dos medias de la misma columna (media por cereal) o fila (media por fecha de corte) para cada uno de los efectos principales o de su interacción (Cereal x fecha de corte) al nivel P<0,05; L: efecto lineal, C: efecto cuadrático; *** p ≤ 0,001, ** p ≤ 0,01, * p ≤ 0,05, n.s.: no significativo p > 0,05

Tabla 3. Composición química y valor relativo forrajero de los forrajes en las diferentes fechas de corte

MS, g kg ⁻¹ MS	Fecha de corte					Efecto	
	1 Fb	22 Fb	16 Mz	17 Ab	Media por forraje	L	Q
Cebada	160	159	161	188	167b	***	***
Avena	134	155	150	176	154a	***	ns
Centeno	128	143	139	159	147a	ns	ns
Triticale	145	146	149	155	149a	ns	ns
Trigo	165	161	172	209	177c	***	***
TgDDRR	142	135	138	176	148a	***	***
Media por corte	145	149	151	177	157		
	<i>d.m.s.: cereal, 13,2</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 11,6</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 20,2</i>		
PB, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	323	241	163	112	210c	***	*
Avena	240	192	161	135	182a	***	***
Centeno	296	249	152	139	209c	***	***
Triticale	281	228	150	123	195b	***	*
Trigo	269	191	158	119	184a	***	***
TgDDRR	286	235	157	115	198b	***	ns
Media por corte	282	222	157	124	196		
	<i>d.m.s.: cereal, 8,9</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 7,8</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 13,7</i>		
FAD, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	238	278	317	339	293d	***	ns
Avena	206	250	294	320	267b	***	**
Centeno	208	239	263	308	255a	***	***
Triticale	208	274	314	336	283c	***	***
Trigo	248	306	325	334	303e	***	***
TgDDRR	212	270	299	317	274b	***	*
Media por corte	219	268	299	328	279		
	<i>d.m.s.: cereal, 9,7</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 8,5</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 14,8</i>		
FND, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	524	576	624	643	592d	***	*
Avena	474	538	595	631	559b	***	***
Centeno	421	517	556	622	529	***	***
Triticale	479	568	624	653	581c	***	***
Trigo	534	610	633	645	605e	***	***
TgDDRR	481	559	596	620	564b	***	*
Media por corte	503	561	599	638	572		
	<i>d.m.s.: cereal, 12,8</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 11,3</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 19,6</i>		
MOD, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	680	643	626	589	634b	***	ns
Avena	725	683	632	586	656c	***	ns
Centeno	720	697	657	630	676d	***	ns
Triticale	701	682	633	616	658c	***	ns
Trigo	662	629	592	578	615a	***	***
TgDDRR	730	701	666	591	672d	***	**
Media por corte	617	602	578	559	652		
	<i>d.m.s.: cereal, 10,7</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 11,3</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 19,6</i>		

GB, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	29,3	27,1	21,9	17,5	23,9bc	***	***
Avena	30,3	27,8	21,2	17,7	24,2c	***	ns
Centeno	32,6	29,0	26,1	23,7	27,8d	***	*
Triticale	27,2	25	20,1	15,8	22,0a	***	ns
Trigo	28,9	25,0	23,0	18,1	23,7bc	***	ns
TgDDRR	27,1	25,5	23,3	18,2	23,6b	***	ns
Media por corte	29,2	28,2	22,6	18,5	24,2		
	<i>d.m.s.: cereal, 0,8</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 0,7</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 1,2</i>		
VRF							
Cebada	124	108	96	90	104a	***	***
Avena	143	119	103	94	115c	***	***
Centeno	160	126	114	97	124d	***	***
Triticale	142	110	96	89	109b	***	***
Trigo	121	99	93	90	101a	***	***
TgDDRR	139	113	101	93	111ab	***	**
Media por corte	138	112	100	92	111		
	<i>d.m.s.: cereal, 4,5</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 4,1</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 7</i>		
Nivel de significación	Cereal		Fecha de corte		Cereal x fecha de corte		
MS, g kg ⁻¹	***		***		ns		
PB, g kg ⁻¹	***		***		***		
FAD, g kg ⁻¹	***		***		***		
FND, g kg ⁻¹	***		***		***		
Do, g kg ⁻¹	***		***		***		
GB, g kg ⁻¹	***		***		***		
VRF	***		***		***		

MS = materia seca; PB = proteína bruta; FADsincen = fibra ácido detergente sin cenizas; FND = fibra neutro detergente; Do = Digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica; GB = grasa bruta. d.m.s.: diferencia mínima significativa entre dos medias de la misma columna (media por cereal) o fila (media por fecha de corte) para cada uno de los efectos principales o de su interacción (Cereal x fecha de corte) al nivel $P < 0,05$; L: efecto lineal, C: efecto cuadrático; *** $p \leq 0,001$, ** $p \leq 0,01$, * $p \leq 0,05$, n.s.: no significativo $p > 0,05$.

La relación hoja/tallo (en seco) y los contenidos proteínicos de ambos (tabla 2) disminuyeron linealmente con el avance de la madurez en todos los cereales ($P \leq 0,001$), con valores medios de $2,31 \pm 1,9$; 235 ± 60 y 134 ± 30 g kg⁻¹ MS respectivamente. La altura de la planta fue diferente entre cereales, con máximos en la avena de $99,4 \pm 1,4$ cm y mínimos de $69 \pm 2,9$ cm la cebada y el trigo respectivamente, incrementándose en todos los casos linealmente con la fecha de corte ($P \leq 0,001$). El porcentaje de hojas sobre materia seca se relacionó negativamente con la altura de la planta según la ecuación ($103 - 0,85$ cm; $\pm 10,2$ $r^2 = 0,77$) y positivamente con el de tallos ($5,23 + 0,61$ cm; $\pm 10,3$ $r^2 = 0,64$), registrándose aumentos máximos de 1,46 unidades porcentuales por cm en el trigo y mínimas de 0,66 en centeno para las hojas y de 1,05 en trigo y 0,45 en avena en los tallos. Del mismo modo, la producción de materia seca aumentó 103 kg ha cm⁻¹ en el conjunto de forrajes, con máximos de 160 kg en trigo y mínimos de 91 kg en centeno (datos no presentados). Pese al mayor aumento de biomasa por cm de altura en el trigo, los descensos de proteína y de materia orgánica digestible para este último cereal fueron de (-2,9 y -1,6 g kg⁻¹ MS), inferior al de la cebada de (-3,8 y -1,6 g), triticale (-3,5 y -2,1 g) y de -3,8 y -2,7 g en triticale respectivamente. >>

LA RELACIÓN HOJA/TALLO (EN SECO) Y LOS CONTENIDOS PROTEICOS DE AMBOS DISMINUYERON LINEALMENTE CON EL AVANCE DE LA MADUREZ EN TODOS LOS CEREALES ($P \leq 0,001$), CON VALORES MEDIOS DE $2,31 \pm 1,9$; 235 ± 60 Y 134 ± 30 G KG^{-1} MS RESPECTIVAMENTE



Principios nutritivos, antinutritivos y valor relativo forrajero

La tabla 3 señala el contenido en principios nutritivos de los cereales analizados, observándose diferencias significativas entre ellos, fecha de corte y su interacción ($P \leq 0,001$). Los contenidos de materia seca (MS), fibra ácido detergente (FAD) y la fibra neutro detergente (FND) incrementaron linealmente en todos los cereales con el avance de la madurez ($P \leq 0,001$). Por el contrario, la proteína bruta (PB), la materia orgánica digestible (MOD) y la grasa bruta (GB) disminuyeron linealmente entre fechas de corte ($P \leq 0,001$). Los contenidos medios y la desviación estándar entre cereales fueron de 196 ± 65 g kg^{-1} MS la PB; 279 ± 45 g kg^{-1} MS la FAD; 572 ± 65 g kg^{-1} MS la FND; 652 ± 48 g kg^{-1} MS la MOD y $24,6 \pm 4,6$ g kg^{-1} MS la GB.

La mayor concentración de proteína entre aprovechamientos y cereal correspondió a la cebada (210 ± 83 g kg^{-1} MS) y al centeno (209 ± 68 g), la menor ($P \leq 0,05$), a la avena 182 ± 40 g y al trigo 184 ± 55 g, y la intermedia al triticale y al TgDDRR (tabla 3). Mientras, el mayor contenido de carbohidratos estructurales (FAD y FND) se registran en el trigo y la cebada ($P \leq 0,05$), con valores medios de 303 ± 34 y 605 ± 43 g y 293 ± 41 y 592 ± 50 g kg^{-1} MS respectivamente, registrándose la menor en centeno, con 255 ± 37 y 529 ± 74 g kg^{-1} MS (tabla 3). El centeno manifestó el mayor contenido de materia orgánica digestible (676 ± 38 g kg^{-1} MS) y 672 ± 58 g el TgDDRR ($P \leq 0,001$), sin diferencias entre ambos y las menores, de 615 ± 33 g kg^{-1} MS en el trigo. La GB fue un 11,8 % superior en centeno ($P \leq 0,05$) respecto a

la media de los cinco cereales (tabla 3), con un valor medio de conjunto en los seis cereales de $24,6$ g kg^{-1} MS.

La altura de la planta en cm, el porcentaje de hojas y tallos, la relación hojas/tallos, el estado de madurez, los días a partir del 1 de enero manifestaron un aceptable grado de correlación para predecir el contenido en principios nutritivos. Así, por ejemplo, la proteína bruta se relacionó negativamente con la altura ($r^2=0,69$ $P \leq 0,001$), el porcentaje de tallos ($r^2=0,66$ $P \leq 0,001$), el estado de crecimiento ($r^2=0,85$ $P \leq 0,001$) y los días a partir del 1 de enero ($r^2=0,79$ $P \leq 0,001$). Estas variables representaron descensos de $-2,43$ g PB cm^{-1} de altura; $-3,06$ g por unidad porcentual de tallos; $-5,03$ g por una unidad desde el estado 23 al 57 de madurez de la clasificación de Zadock; $-2,15$ g por día desde el 1 de enero. Por el contrario, el porcentaje de hojas ($r^2=0,74$ $P \leq 0,001$) y la relación hoja/tallo ($r^2=0,65$ $P \leq 0,001$) lo hicieron positivamente con aumentos de $2,6$ g de proteína por aumentos de una unidad porcentual de hojas y $27,7$ g kg^{-1} MS cuando aquella relación aumenta un punto.

La FAD y la FND se relacionaron positivamente con la altura ($r^2=0,58$ y $0,59$ $P \leq 0,001$); el porcentaje de tallos ($R^2=0,60$ y $0,57$ $P \leq 0,001$); días a partir del 1 de enero ($r^2=0,65$ y $0,62$ $P \leq 0,001$) y el estado de crecimiento ($r^2=0,69$ y $0,67$ $P \leq 0,001$); con pendientes de $1,56$ - $2,26$; $2,05$ - $2,88$; $1,37$ - $1,93$ y $3,19$ - $4,5$ g kg^{-1} MS y, negativamente, con el porcentaje de hojas ($r^2=0,64$ y $0,61$ $P \leq 0,001$) y la relación hoja/tallo ($r^2=0,62$ y $0,61$ $P \leq 0,001$) con medias de $1,7$ - $2,37$ y $19,1$ - $27,2$ g kg^{-1} MS respectivamente. >>

EL VALOR RELATIVO FORRAJERO (VRF) FUE DIFERENTE ENTRE CEREALES, FECHA DE CORTE Y SU INTERACCIÓN, CON VALORES MEDIOS DE 110 ± 20 ; MÁXIMOS DE 124 ± 23 EL CENTENO Y MÍNIMO DE 101 ± 12 EL TRIGO ($P \leq 0,05$)



La MOD y la GB se relacionaron negativamente con la altura ($r^2=0,44$ y $0,67$ $P \leq 0,001$); el porcentaje de tallos ($r^2=0,40$ y $0,60$ $P \leq 0,001$); días a partir del 1 de enero ($r^2=0,60$ y $0,74$ $P \leq 0,001$) y el estado de crecimiento ($r^2=0,64$ y $0,73$ $P \leq 0,001$); con pendientes de $1,45-0,17$; $1,80-0,21$; $1,41-0,15$; $0,13-0,014$ y $3,26-0,33$ $g\ kg^{-1}$ MS y, positivamente, con el porcentaje de hojas ($r^2=0,53$ y $0,74$ $P \leq 0,001$) y la relación hoja/tallo ($r^2=0,45$ y $0,63$ $P \leq 0,001$) con pendientes de $1,65-0,18$ y $17,3-1,94$ $g\ kg^{-1}$ MS respectivamente.

Las concentraciones de fósforo, calcio, magnesio y potasio (tabla 4) fueron diferentes entre cereales, fecha de corte y la interacción Cereal x fecha de corte ($P \leq 0,001$), con contenidos medios de $2,67 \pm 0,44$; $3,61 \pm 0,84$; $1,68 \pm 0,37$; $24,1 \pm 5,7$ $g\ kg^{-1}$ MS respectivamente, disminuyendo linealmente con el avance de la madurez (tabla 4). El cereal de menor riesgo del potencial hipomagnesémico [$K/(Ca+Mg)$] en el cuarto corte se localizó en la cebada de $3,57 \pm 0,22$ ($P \leq 0,05$) y el mayor de $5,4 \pm 0,85$ en el TgDDRR (tabla 4). La mayor concentración de fósforo en el último corte dentro de cada cereal fue para el centeno ($3,04 \pm 0,29$ $g\ kg^{-1}$ MS); el calcio en la cebada y avena ($4,24 \pm 0,63$ y $4,21 \pm 1,1$ $g\ kg^{-1}$ MS respectivamente); el magnesio en la avena ($1,88 \pm 0,38$ $g\ kg^{-1}$ MS) y el potasio ($30,4 \pm 5,6$ $g\ kg^{-1}$ MS) el TgDDRR.

La concentración de nitrato (NO_3^-) en el conjunto de cereales al 17 de abril fue de 2282 ± 1488 $mg\ kg^{-1}$ MS y diferente entre ellos ($P \leq 0,001$), con máximos de 3761 ± 2064 mg en la avena y mínimos de 582 ± 49 mg en el trigo (figura 2). El porcentaje de nitrato sobre el N total en el conjunto de cereales representó el $11,3 \pm 6,6$ %, con máximos en el triticale ($16,7 \pm 2,2$ %) y mínimos en trigo de $3,08 \pm 0,17$ %.

El valor relativo forrajero (VRF) fue diferente entre cereales, fecha de corte y su interacción (tabla 3), con valores medios de 110 ± 20 ; máximos de 124 ± 23 el centeno y mínimo de 101 ± 12 el trigo ($P \leq 0,05$). El retraso en la fecha de siega originó descensos lineales del VRF ($P \leq 0,001$), con

valor medio de $-0,58$ puntos por día a partir del uno de enero (d) según la ecuación, $VRF = 150 - 0,57 d$; $\pm 13,5$ $R^2=0,57$; con máximos de $0,81$ puntos por día en centeno y mínimos de $0,37$ en triticale.

Concentración de ácidos grasos

La concentración media y desviación estándar de los diferentes AGs en el conjunto de cereales ordenados de mayor a menor fueron $7,5 \pm 2,1$ $g\ kg^{-1}$ MS el α -linolénico (C18:3); $2,17 \pm 0,5$ g el (C16:0); $1,45 \pm 0,51$ g el C18:2; $0,42 \pm 0,09$ g C18:1; $0,37 \pm 0,28$ g el esteárico (C18:0); $0,24 \pm 0,15$ g el mirístico; $0,18 \pm 0,12$ g el aráquico (C20:0); $0,11 \pm 0,06$ g el láurico y $0,11 \pm 0,03$ g el palmitoleico (C16:1). Las mayores concentraciones entre cereales al 17 de abril (fecha de recolección) para el C12:0 fue la avena ($0,17 \pm 0,03$ g); el C14:0 el centeno ($0,43 \pm 0,02$ g); el C16:0 el centeno ($3,14 \pm 0,83$ g); el C16:1 la avena ($0,14 \pm 0,01$ g); el C18:0 la avena ($0,55 \pm 0,06$ g); el C18:1 el centeno ($0,65 \pm 0,02$ g); C18:2 el TgDDRR ($1,03 \pm 0,15$ g) y el centeno el C18:3 con ($5,42 \pm 0,11$ g).

El contenido de ácidos grasos (AGs) fue diferente entre cereales, fecha de corte y la interacción difieren ($P \leq 0,001$), excepto la interacción del láurico (tabla 5). Los diferentes AGs disminuyeron con la madurez en la mayoría de los cereales ($P \leq 0,001$), pero no en otros, (tabla 4). Así, por ejemplo, el láurico (C12:0) y mirístico (C14:0) del triticale con genotipo DDDR (TgDDRR) no se observaron efectos lineales ni cuadráticos entre cortes; el palmítico (C16:0) en trigo y cebada varió cuadráticamente en el tiempo ($P \leq 0,001$); sin efectos el C18:1 en triticale y cuadráticamente ($P \leq 0,01$) el aráquico en la cebada. >>

Tabla 4. Contenido en minerales de los forrajes en las diferentes fechas de corte

Fecha de corte					Efecto		
Fósforo, g kg ⁻¹ MS	1 Fb	22 Fb	16 Mz	17 Ab	Media por forraje	L	Q
Cebada	3,05	2,8	2,58	2,14	2,64b	***	ns
Avena	2,8	2,64	2,28	1,8	2,54ab	***	ns
Centeno	3,23	3,28	3,02	2,63	3,04c	***	***
Triticale	2,78	2,55	2,26	2,09	2,42a	***	ns
Trigo	3,22	2,75	2,52	2,27	2,69b	***	***
TgDDRR	3,08	3,12	2,73	1,90	2,71b	***	***
Media por corte	3,02	2,86	2,64	2,17	2,67		
	d.m.s.: cereal, 0,14		d.m.s.: fecha corte, 0,13		d.m.s.: c x fc, 0,22		
Calcio, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	4,87	4,7	4,04	3,4	4,24d	***	ns
Avena	5,58	4,5	3,97	2,78	4,21d	***	ns
Centeno	4,28	3,42	3,19	2,89	3,44b	***	***
Triticale	3,49	3,23	2,96	2,53	3,05a	***	ns
Trigo	3,23	3,05	2,68	2,50	2,86a	***	*
TgDDRR	4,13	4,12	4,20	3,03	3,87c	***	***
Media por corte	4,26	3,84	3,50	2,85	3,61		
	d.m.s.: cereal, 0,19		d.m.s.: fecha corte, 0,16		d.m.s.: c x fc, 0,29		
Magnesio, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	2,1	1,81	1,75	1,36	1,75c	***	ns
Avena	2,32	2,04	1,78	1,39	1,88e	***	ns
Centeno	1,75	1,58	1,44	1,27	1,51b	***	***
Triticale	1,45	1,36	1,80	1,09	1,27a	***	ns
Trigo	2,16	1,90	1,78	1,61	1,86e	***	*
TgDDRR	2,10	2,13	1,80	1,25	1,82c	***	***
Media por corte	1,98	1,8	1,63	1,33	1,68		
	d.m.s.: cereal, 0,11		d.m.s.: fecha corte, 0,10		d.m.s.: c x fc, 0,17		
Potasio, g kg ⁻¹ MS							
Cebada	25,1	24,3	20,0	15,9	21,5a	***	ns
Avena	31,5	29,6	22,9	16,7	25,2b	***	ns
Centeno	27,1	21,6	19	16,7	21,1a	***	ns
Triticale	26,6	25,3	19,1	16,5	21,9a	***	ns
Trigo	30,4	25,5	22,4	20,1	24,6b	***	***
TgDDRR	35,3	32,1	31,9	22,2	30,4c	***	ns
Media por corte	29,3	26,4	22,7	18,1	24,1		
	d.m.s.: cereal, 1,2		d.m.s.: fecha corte, 1,06		d.m.s.: c x fc, 1,84		
K/(Ca+Mg)							
Cebada	3,6	3,72	3,59	3,37	3,57a	***	*
Avena	3,98	4,53	3,98	4,05	4,12b	ns	ns
Centeno	4,49	4,33	4,11	4,02	4,24b	**	ns
Triticale	5,39	5,51	4,6	4,55	5,01c	***	ns
Trigo	5,64	5,18	5,03	4,9	5,19cd	***	ns
TgDDRR	5,72	5,22	5,46	5,22	5,40d	ns	ns
Media por corte	4,8	4,7	4,4	4,3	4,5		
	d.m.s.: cereal, 1,2		d.m.s.: fecha corte, 1,06		d.m.s.: c x fc, 1,84		

Nivel de significación	Cereal	Fecha de corte	Cereal x fecha de corte
Fósforo, g kg ⁻¹	***	***	ns
Calcio, g kg ⁻¹	***	***	***
Magnesio, g kg ⁻¹	***	***	***
Potasio, g kg ⁻¹	***	***	***
K/(Ca+Mg)	***	***	**

d.m.s.: diferencia mínima significativa entre dos medias de la misma columna (media por cereal) o fila (media por fecha de corte) para cada uno de los efectos principales o de su interacción (Cereal x fecha de corte) al nivel $P < 0,05$. L: efecto lineal, C: efecto cuadrático; *** $p \leq 0,001$, ** $p \leq 0,01$, * $p \leq 0,05$, n.s.: no significativo $p > 0,05$

Atendiendo al grado de saturación de los ácidos grasos (tabla 5), los saturados representaron el 24,5 %, con contenidos medios de $3,09 \pm 0,86$ g kg⁻¹ MS; el 71,2 % equivalente a $8,95 \pm 2,6$ g y el 4,2 % o $0,53$ g kg⁻¹ MS los monoinsaturados. Entre cereales, la mayor y menor concentración de saturados se registró en la avena y el trigo respectivamente ($4,30 \pm 0,55$ en avena y $2,28 \pm 0,17$ en trigo g kg⁻¹ MS); en los poliinsaturados ($9,52 \pm 2,54$ en centeno y $8,25 \pm 2,9$ la avena) y los monoinsaturados, $0,70 \pm 0,08$ en centeno y $0,45 \pm 0,04$ el triticale.

DISCUSIÓN

Producción de materia seca y componentes morfológicos
Coincidente con Rosser *et al.* (2013), la producción de biomasa aumentó con la madurez de la planta y se redujo el contenido en principios nutritivos. La materia seca acumulada en el conjunto de cereales hasta el 17 de abril (Estado de Crecimiento $53 \pm 2,7$: $\frac{1}{4}$ espiga emergida, Zadoks *et al.*, 1974) fue similar a las señaladas por Zeki *et al.* (2006) de 7,7 t MS ha⁻¹ como valor medio de triticale, cebada y centeno al inicio del espigado y a 7,7 t en cebada y avena (Aasen *et al.*, 2004). La biomasa de la avena fue un 11,9 % superior a la cebada, 20 % al centeno, 9,9 % al triticale, 9,4 % al trigo y 9,9 % al triticale con genotipo DDDR. Producciones de materia seca superiores al 20 % en triticale respecto al trigo y al centeno fueron señaladas por Zeki *et al.* (2006). En el presente experimento, la producción del centeno fue un 11,4 % inferior al triticale, sin diferencias respecto al trigo. La producción del triticale del segundo corte (Estado de Crecimiento 32) fue similar a 3,1 t materia seca (Royo *et al.*, 1994); similares a 6,8 t MS ha⁻¹ en A Coruña (Pereira-Crespo *et al.*, 2010), 7,6 t en el valle del Po (Delogu *et al.*, 2002) y superiores a 5,7 t en avena al inicio del espigado (Salcedo, 2011a); similares a 6,3 t en trigo (Salcedo, 2004) y 7,2 t en cebada (McCartney y Vaage, 1994). Para Bergen *et al.* (1991), la producción y la calidad nutritiva de la cebada y avena destinadas para ensilado son máximas en los estadios de grano pastoso (Estado de Crecimiento 77 a 85), mientras para el triticale y el centeno el rango varía desde el principio de estado lechoso (Daccord y Arrigo, 1993). >>

Figura 2. Concentración de NO₃⁻ (mg kg⁻¹ MS) y porcentaje de NO₃⁻ 100 g N del último corte

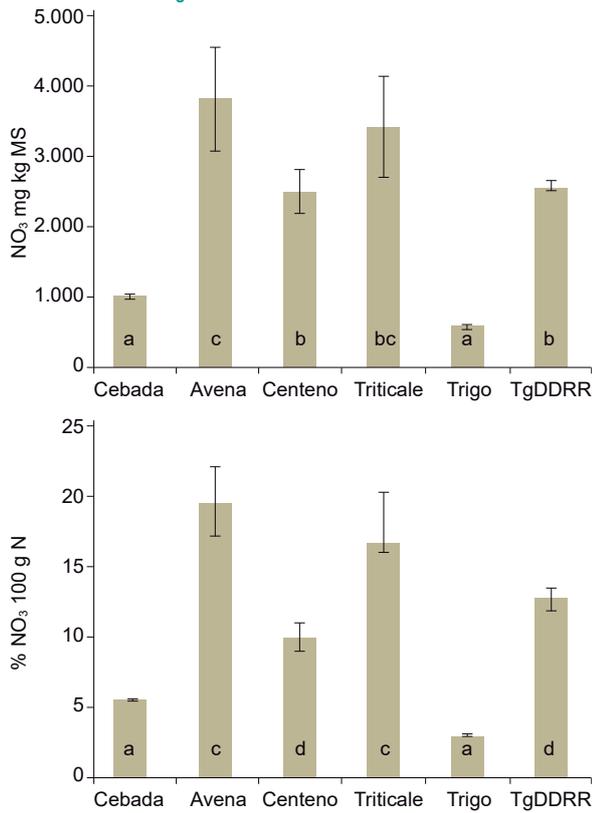


Tabla 5. Concentración de ácidos grasos en las diferentes fechas de corte

Ácido	Fecha de corte				Media por forraje	Efecto	
	1 Fb	22 Fb	16 Mz	17 Ab		L	Q
Láurico, g kg⁻¹ MS							
Cebada	0,13	0,11	0,09	0,07	0,1cd	***	ns
Avena	0,26	0,24	0,20	0,17	0,22e	***	ns
Centeno	0,12	0,12	0,10	0,08	0,11d	***	ns
Triticale	0,12	0,10	0,08	0,05	0,09bc	***	ns
Trigo	0,10	0,09	0,08	0,06	0,088ab	***	ns
TgDDRR	0,09	0,07	0,08	0,04	0,07a	ns	ns
Media por corte	0,14c	0,12bc	0,11b	0,08a	0,11		
	d.m.s.: cereal, 0,15		d.m.s.: fecha corte, 0,012		d.m.s.: c x fc, 0,25		
Mirístico, g kg⁻¹ MS							
Cebada	0,43	0,37	0,29	0,24	0,33e	***	*
Avena	0,37	0,34	0,26	0,22	0,30c	***	ns
Centeno	0,54	0,48	0,46	0,43	0,42f	***	***
Triticale	0,18	0,14	0,12	0,11	0,14c	***	*
Trigo	0,12	0,11	0,11	0,10	0,11b	***	ns
TgDDRR	0,06	0,05	0,08	0,06	0,06a	ns	ns
Media por corte	0,28b	0,25ab	0,22ab	0,19a	0,24		
	d.m.s.: cereal, 0,12		d.m.s.: fecha corte, 0,009		d.m.s.: c x fc, 0,22		
Palmitico, g kg⁻¹ MS							
Cebada	1,83	2,35	2,26	2,11	2,13c	ns	***
Avena	1,97	2,69	2,61	2,46	2,43d	***	***
Centeno	2,31	2,72	3,05	3,14	2,81e	***	ns
Triticale	1,61	1,80	1,70	1,49	1,65a	***	***
Trigo	1,73	1,99	2,06	1,84	1,91b	ns	***
TgDDRR	1,84	2,03	2,36	2,12	2,09c	***	***
Media por corte	1,88a	2,26b	2,34b	2,19b	2,17		
	d.m.s.: cereal, 0,15		d.m.s.: fecha corte, 0,12		d.m.s.: c x fc, 0,27		

Cereal	Palmitoleico, g kg ⁻¹ MS					L	Q
	0,07	0,08	0,09	0,13	0,09a		
Cebada	0,07	0,08	0,09	0,13	0,09a	***	**
Avena	0,08	0,10	0,14	0,14	0,12b	***	***
Centeno	0,16	0,16	0,18	0,13	0,16c	***	***
Triticale	0,10	0,10	0,09	0,07	0,09a	***	ns
Trigo	0,11	0,10	0,09	0,08	0,10a	***	ns
TgDDRR	0,11	0,10	0,11	0,07	0,10a	***	ns
Media por corte	0,11	0,11	0,12	0,10	0,11		
	d.m.s.: cereal, 0,01		d.m.s.: fecha corte, 0,006		d.m.s.: c x fc, 0,002		
Cereal	Esteárico, g kg ⁻¹ MS					L	Q
	0,36	0,35	0,25	0,19	0,29c		
Cebada	0,36	0,35	0,25	0,19	0,29c	***	ns
Avena	0,99	0,90	0,68	0,55	0,78e	***	ns
Centeno	0,68	0,56	0,42	0,25	0,48c	***	ns
Triticale	0,77	0,66	0,31	0,14	0,47d	***	**
Trigo	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06a	***	***
TgDDRR	0,15	0,18	0,16	0,11	0,15b	***	***
Media por corte	0,50b	0,45b	0,32a	0,22a	0,37		
	d.m.s.: cereal, 0,02		d.m.s.: fecha corte, 0,028		d.m.s.: c x fc, 0,04		
Cereal	Oleico, g kg ⁻¹ MS					L	Q
	0,37	0,43	0,41	0,49	0,42b		
Cebada	0,37	0,43	0,41	0,49	0,42b	***	ns
Avena	0,38	0,39	0,39	0,36	0,38a	***	ns
Centeno	0,49	0,47	0,51	0,65	0,53d	***	***
Triticale	0,35	0,38	0,34	0,35	0,35a	ns	ns
Trigo	0,37	0,46	0,53	0,49	0,47c	***	***
TgDDRR	0,33	0,31	0,40	0,40	0,36a	***	***
Media por corte	0,38a	0,41ab	0,43bc	0,46c	0,42		
	d.m.s.: cereal, 0,02		d.m.s.: fecha corte, 0,021		d.m.s.: c x fc, 0,05		
Cereal	Linoleico, g kg ⁻¹ MS					L	Q
	2,1	1,78	1,27	0,82	1,50bc		
Cebada	2,1	1,78	1,27	0,82	1,50bc	***	ns
Avena	1,81	1,41	0,92	0,64	1,2a	***	***
Centeno	2,34	1,91	1,36	1,02	1,66c	***	***
Triticale	2,1	1,64	1,08	0,7	1,38ab	***	***
Trigo	2,24	1,69	1,43	0,8	1,54bc	***	*
TgDDRR	2,00	1,57	1,15	1,03	1,44abc	***	ns
Media por corte	2,10d	1,67c	1,2b	0,84a	1,45		
	d.m.s.: cereal, 0,07		d.m.s.: fecha corte, 0,054		d.m.s.: c x fc, 0,12		
Cereal	Linoléico, g kg ⁻¹ MS					L	Q
	10,4	8,69	6,28	4,27	7,42		
Cebada	10,4	8,69	6,28	4,27	7,42	***	***
Avena	10,3	8,33	5,49	4,05	7,04	***	***
Centeno	10,71	8,58	6,72	5,42	7,86	***	***
Triticale	9,57	8,27	6,32	4,69	7,21	***	ns
Trigo	10,36	8,07	6,87	4,95	7,56	***	***
TgDDRR	9,93	9,05	7,36	5,23	7,89	***	ns
Media por corte	10,21a	8,5b	6,5c	4,77a	7,5		
	d.m.s.: cereal, 0,26		d.m.s.: fecha corte, 0,21		d.m.s.: c x fc, 0,49		
Cereal	Árquico, g kg ⁻¹ MS					L	Q
	0,13	0,12	0,08	0,12	0,11a		
Cebada	0,13	0,12	0,08	0,12	0,11a	ns	**
Avena	0,29	0,22	0,16	0,19	0,21c	***	***
Centeno	0,50	0,46	0,40	0,32	0,42d	***	ns
Triticale	0,19	0,16	0,14	0,09	0,14b	***	ns
Trigo	0,12	0,11	0,10	0,07	0,10a	***	ns
TgDDRR	0,15	0,12	0,13	0,08	0,12a	***	ns
Media por corte	0,23a	0,20ab	0,17ab	0,15a	0,18		
	d.m.s.: cereal, 0,02		d.m.s.: fecha corte, 0,012		d.m.s.: c x fc, 0,03		
Cereal	AGs, g kg ⁻¹ MS					L	Q
	15,8	14,3	11,06	8,49	12,4a		
Cebada	15,8	14,3	11,06	8,49	12,4a	***	***
Avena	16,4	14,6	10,9	8,82	12,7a	***	*
Centeno	17,8	15,5	13,2	11,5	14,5b	***	***

Tabla 5. Concentración de ácidos grasos en las diferentes fechas de corte (cont.)

Triticale	15,0	13,3	10,2	7,73	11,5a	***	ns
Trigo	15,2	12,7	11,3	8,51	11,9a	***	***
TgDDRR	14,6	13,5	11,8	9,17	12,3a	***	ns
Media por corte	15,87d	14,0c	11,44b	9,0a	12,59		
	<i>d.m.s.: cereal, 0,33</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 0,28</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 0,64</i>		
Saturados g kg⁻¹ MS							
Cebada	2,89	3,32	2,99	2,75	2,99c	ns	***
Avena	3,9	4,41	3,94	3,6	3,96d	ns	***
Centeno	4,17	4,35	4,44	4,25	4,3e	ns	ns
Triticale	2,89	2,89	2,36	1,89	2,51b	***	***
Trigo	2,14	2,38	2,44	2,17	2,28a	ns	***
TgDDRR	2,29	2,46	2,83	2,42	2,5b	ns	***
Media por corte	3,0ab	3,3b	3,18ab	2,85b	3,09		
	<i>d.m.s.: cereal, 0,16</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 0,13</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 0,30</i>		
MUFA, g kg⁻¹ MS							
Cebada	0,44	0,51	0,51	0,63	8,92	***	ns
Avena	0,46	0,50	0,54	0,51	8,25	**	*
Centeno	0,65	0,64	0,70	0,79	9,52	***	**
Triticale	0,46	0,48	0,43	0,43	8,6	**	ns
Trigo	0,49	0,57	0,63	0,58	9,11	***	***
TgDDRR	0,45	0,42	0,51	0,47	9,34	***	***
Media por corte	0,49a	0,52ab	0,55bc	0,57c	0,53		
	<i>d.m.s.: cereal, 0,03</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 0,024</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 0,06</i>		
PUFA, g kg⁻¹ MS							
Cebada	12,53	10,4	7,56	5,10	0,52b	***	*
Avena	12,1	9,75	6,42	4,70	0,50b	***	ns
Centeno	13,06	10,5	8,09	6,45	0,70d	***	***
Triticale	11,67	9,92	7,40	5,40	0,45a	***	ns
Trigo	12,6	9,77	8,30	5,76	0,57c	***	ns
TgDDRR	11,93	10,63	8,51	6,27	0,46a	***	ns
Media por corte	12,3a	10,1b	7,71c	5,61a	8,95		
	<i>d.m.s.: cereal, 0,03</i>		<i>d.m.s.: fecha corte, 0,024</i>		<i>d.m.s.: c x fc, 0,06</i>		
Nivel de significación	Cereal		Fecha de corte		Cereal x fecha de corte		
Láurico, g kg ⁻¹	***		***		ns		
Mirístico, g kg ⁻¹	***		***		***		
Palmitico, g kg ⁻¹	***		***		***		
Palmitoleico, g kg ⁻¹	***		***		***		
Estearico, g kg ⁻¹	***		***		***		
Oleico, g kg ⁻¹	***		***		***		
Linoleico, g kg ⁻¹	***		***		***		
Linolénico, g kg ⁻¹	***		***		***		
Aráquico, g kg ⁻¹	***		***		***		
AGs, g kg ⁻¹	***		***		***		
Saturados,	***		***		***		
MUFA	***		***		***		
PUFA	***		***		***		

AGs = ácidos grasos totales; MUFA = ácidos grasos monoinsaturados; PUFA = ácidos grasos poliinsaturados; d.m.s.: diferencia mínima significativa entre dos medias de la misma columna (media por cereal) o fila (media por fecha de corte) para cada uno de los efectos principales o de su interacción (Cereal x fecha de corte) al nivel $P < 0,05$; L: efecto lineal, C: efecto cuadrático; *** $p \leq 0,001$, ** $p \leq 0,01$, * $p \leq 0,05$, n.s.: no significativo $p > 0,05$

Los cereales de invierno utilizados para forraje en las explotaciones del norte de España van asociados al cultivo de maíz, por tanto, su recolección se realiza en estados de crecimiento inmaduros. El último aprovechamiento de los cereales del presente experimento se realizó al inicio de las

fases reproductivas (estado de madurez media: $53 \pm 2,7$; $\frac{1}{4}$ espiga emergida), imputable a la necesidad de preparar el terreno para el cultivo de maíz. Esta circunstancia favorece aumentos en la relación hoja/tallo, afectando al posterior consumo (Smart *et al.*, 2004). Bilgili *et al.* (2009) señalan diferencias significativas en los componentes morfológicos de treinta y tres líneas de triticales, pero no en la longitud de la hoja bandera. La contribución de hojas, tallos y espigas al peso total de la planta en materia seca al 17 de abril fue del $30,4 \pm 5,2$ %; $53,3 \pm 6,6$ % y $16,2 \pm 5,2$ % respectivamente; similares a 29 %, 60 % y 11 % señalados por Juskiw *et al.* (2000) como valor medio en cebada, avena, centeno y triticale al inicio del espigado. El menor porcentaje de hojas se localizó en TgDDRR ($46,4 \pm 16,7$ %) y el superior de $63,5 \pm 20,4$ % en avena (tabla 2).

Principios nutritivos, antinutritivos y valor relativo forrajero de los forrajes

Coincidente con Mislevy *et al.* (1997) y Eskandari *et al.* (2009), el estado de madurez es el factor más importante que afecta a la calidad del forraje. Para Bergen *et al.* (1991) el estado óptimo de recolección que maximiza la producción y la calidad en la cebada y en la avena corresponde al inicio del estado pastoso; mientras, el triticale y centeno varían desde el espigado al principio del estado lechoso (Daccord y Arrigo, 1993).

Según Eskandari *et al.* (2009), los cereales contienen un bajo valor nutritivo, siendo su contenido en proteína el criterio más importante para evaluar su calidad (Caballero *et al.*, 1995; Assefa y Ledin, 2001). La madurez redujo las relaciones hoja/tallo y proteica hoja/proteína tallo, obteniéndose descensos de 0,057 y 0,105 unidades por día de cultivo en el conjunto de cereales (datos no presentados). El mayor contenido de proteína del último corte fue localizado en avena y centeno ($135 \pm 2,7$ y $139 \pm 2,7$ g kg⁻¹ MS) y la menor, la cebada con $112 \pm 3,2$ g kg⁻¹ MS (tabla 4). Posiblemente y al igual que ocurre en el maíz, la madurez incrementa el contenido de almidón de la planta, diluyendo los carbohidratos estructurales (Wiersma *et al.*, 1993). De la misma manera, Nuñez *et al.* (2010) señalan para la avena, trigo y cebada en el estado de grano lechoso, concentraciones de FND ligeramente inferiores a las del presente experimento en el estado de $\frac{1}{4}$ espiga emergida, equivalentes a 6,12; 1,09 y 3,31 puntos menos; pero no la proteína en la avena, que fue superior en este trabajo y similar para la cebada y el trigo. Otros autores como Rosser *et al.* (2013) señalan descensos de 138, 96 y 63 gramos kg de materia seca de FND para cebada, avena y trigo desde el estado 50 (tabla 1) hasta el 90 (madurez). Estos resultados confirman el amplio rango de utilización de los cereales de invierno para forrajes (Adogla-Bessa y Owen, 1995). Las variaciones en el contenido de principios nutritivos entre el cuarto y el tercer corte (estados de madurez medios de $44 \pm 3,5$ y $53 \pm 2,7$ respectivamente) para el conjunto de cereales fueron de -21 % la PB, máximos de 31,4 % en cebada y mínimo de 8,8 % en centeno; +8,8 % la FAD, máximo de 16,9 % en centeno y mínimo de 2,8 % en trigo; +5,3 \pm 3,2 la FND (11,9 % el centeno y 1,9 % el trigo); -5,6 \pm 3,0 % la MOD (11,2 % el TgDDRR y 2,3 % el trigo) y -18,4 \pm 4,4 % la grasa bruta con máximo de 21,9 % en TgDDRR y mínimo de 9,8 en centeno. >>

Las concentraciones de Ca, P y Mg al momento de la recolección (17 abril) para el conjunto de cereales fueron un 66,8 %, un 35,6 % y un 72,4 % inferiores a las señaladas por Casalmiglia *et al.* (2016). Entre cereales las mayores diferencias para el Ca, P y Mg respecto a las indicadas por aquellos autores fueron de -89,7 % el Ca en triticale; de -56,5 % el P en avena y de -167 % el trigo. Posiblemente estas diferencias sean debidas a la procedencia de las muestras, en las que el 33 % procede de Castilla y León, el 21 % de Extremadura, el 14 % de Baleares, el 13 % de Andalucía, el 11 % de Cataluña y el 5 % de Castilla-La Mancha. La relación hipomagnesémica $[K+(Ca+Mg)]$ de la avena al 50 % espigado resultó ligeramente inferior a 4,06 señalado por Erickson *et al.* (1978); mientras, el P, Ca, Mg y K fueron inferiores. Todos los cereales manifestaron un riesgo potencial de sufrir los animales hipomagnesemia en función de aquella relación según Kemp y t'Hart (1957) y Wilkinson *et al.* (1987). Estos autores observaron síntomas de hipomagnesemia en ganado vacuno con relaciones superiores a 2,2; por el contrario, apreciaron pocos casos con relaciones inferiores. Las concentraciones de Ca y P en cebada, avena y trigo del presente trabajo fueron inferiores a 0,5-0,4; 0,31-0,35 y 0,29-0,38 % sobre materia seca señalado por Rosser *et al.* (2013).

Según Nichol *et al.* (2003), la intoxicación por nitrato (NO_3^-) puede aparecer en vacas secas alimentadas con forrajes de invierno. La misma se produce como consecuencia de la conversión del nitrato en nitrito (NO_2^-) por los microbios del rumen a una velocidad más allá de la formación de amoníaco (Nichol, 2007). La concentración media de nitrato observado en los diferentes cereales fue de $2,28 \pm 0,21 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, considerados no tóxicos por Nichol (2007). Concentraciones inferiores a $10 \text{ g NO}_3^- \text{ kg MS}$ son seguras; mientras, las superiores a 20 g NO_3^- podrían resultar tóxicas.

Contenido de ácidos grasos

La concentración total de ácidos grasos (AGs) fue superior en los estados vegetativos de $13,7 \pm 2,1 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ que $9,04 \pm 1,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ en los reproductivos, atribuido a la menor proporción de hojas en estas últimas fases, coincidente con Dewhurst *et al.* (2001). Por su parte, Boufaïed *et al.* (2003) observan que los descensos en las concentraciones de ácidos grasos en forrajes pueden ser atribuidas a efectos de dilución del crecimiento e incrementos de otros metabolitos semejantes a la celulosa, hemicelulosa y lignina. No obstante, la concentración final de ácidos grasos puede verse modificada según el manejo del forraje o el sistema de conservación. Para Dewhurst *et al.* (2001), el perfil de ácidos grasos en *Lolium multiflorum* disminuye cuando se retrasa el aprovechamiento. Así por ejemplo, el tiempo de presecado en *Lolium perenne* reduce el total de ácidos grasos (Dewhurst *et al.*, 2002) y la forma de conservación (Dewhurst *et al.*, 2003) para todos los forrajes en general. En cualquier caso, el total de AGs en $\text{g kg}^{-1} \text{ MS}$ para el conjunto de forrajes del presente experimento fue inferior a los señalados por cereales utilizados como forrajes fueron $12,5 \pm 2,8 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, inferiores a los señalados por

Dewhurst *et al.* (2001, 2002) y Elgersma *et al.* (2003, 2005) y Salcedo (2011b) en *Lolium multiflorum*.

Las concentraciones medias \pm desviación estándar en $\text{g } 100 \text{ g}$ de ácidos grasos ordenados de mayor a menor en los diferentes cereales fueron $58,9 \pm 6,4$ el linolénico (C18:3); $18,0 \pm 5,2$ el palmítico (C16:0); $11,2 \pm 2,1$ el linoleico (C18:2); $3,57 \pm 1,2$ el oleico (C18:1); $2,9 \pm 1,9$ el esteárico (C18:1); $1,88 \pm 1,0$ el mirístico (C14:0); $1,46 \pm 0,75$ el aráquico (C20:0); $0,93 \pm 0,29$ el palmitoleico (C16:1) y el láurico (C12:0) $0,91 \pm 0,44$ (C12:0) (figura 3). Estas proporciones fueron similares a *xTriticosecale*, *Dactylis Glomerata*, *Lolium perenne* y *Festuca arrundinacea* (Clapham *et al.*, 2005); *Dactylis Glomerata* (Gregorini *et al.*, 2008); *Lolium perenne* (Paladino *et al.*, 2009); *Lolium multiflorum*, *Dactylis Glomerata*, *Dactylis Glomerata*, *Phleum pratense* (Wyss y Collomb, 2010) y en *Lolium multiflorum* Salcedo (2011b).

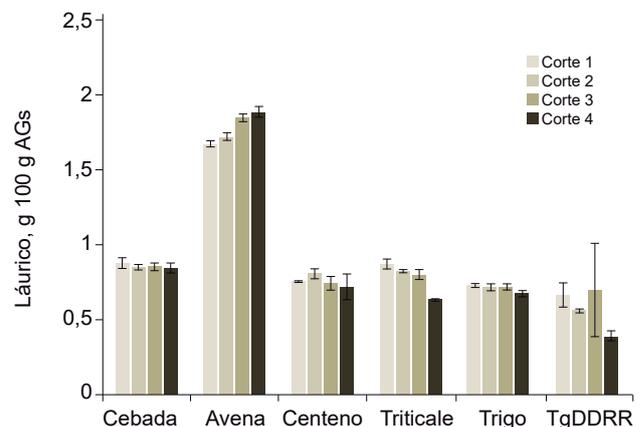
CONCLUSIONES

El potencial de producción de los cereales de invierno aprovechados en estados inmaduros (inicio del espigado) en la zona costera de Cantabria es aceptable, siendo la avena el cereal de mayor rendimiento en términos de biomasa, proteína y materia orgánica digestible por hectárea. Mientras, en la cebada, el triticale, el trigo y el triticale tetraploide (DDRR) la productividad es similar. No obstante, su potencialidad estará condicionada a la fecha de siembra del maíz como cultivo mayoritario de la rotación. El retraso en la fecha de corte incrementó significativamente la producción de biomasa, las concentraciones de materia seca, fibra ácido y neutro detergente; por el contrario, disminuye la proteína bruta y la digestibilidad de la materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio, potasio y el total de ácidos grasos. El linolénico, palmítico, linoleico y oleico fueron los ácidos grasos mayoritarios en todos los cereales.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a la Cooperativa Agrocantabria y a Agrasys por facilitar las semillas; del mismo modo, al Laboratorio Agroalimentario de Santander por los análisis de ácidos grasos. >>

Figura 3. Diferencias de C12:0, C14:0, C16:0, C16:1, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3 y C20:0 entre cereales y fecha de corte (% 100 g AGs)



LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA AUMENTÓ CON LA MADUREZ DE LA PLANTA Y SE REDUJO EL CONTENIDO EN PRINCIPIOS NUTRITIVOS

