

EFFECTO DE DOS SISTEMAS DE DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD DEL ENSILAJE DIRECTO DE AVENA EN DIFERENTES ESTADOS FENOLÓGICOS

Effect of two systems of dry matter determination on the chemical composition and quality of direct cut oat silage at different phenological stages

Juan Carlos Dumont L.^{1*}, René Anrique G.² y Daniel Alomar C.²

ABSTRACT

At the Remehue Regional Research Center, National Agricultural Research Institute (INIA), Osorno, Chile, a study was carried out to evaluate the effects of two methods of dry matter (DM) determination on the chemical composition of direct-cut oat (*Avena sativa* L.) cv. Llaofén silages. The oats were harvested at the stages of stem elongation (Early), ear emergence (Medium) and milky-doughy stage (Late). Silage samples were submitted to ventilation oven drying and to toluene distillation. From early to late stages, toluene DM yield increased from 4.7 to 9.7 t ha⁻¹ and toluene DM, acid detergent fiber (ADF), and crude fiber (CF) increased from 15.4 to 27.4%; 29.8 to 36.7% and from 25.2 to 28.2%, respectively; the contents of crude protein (CP), ether extract (EE), ash (CT), metabolizable energy (ME) and gross energy (GE) decreased from 13.7 to 6.6%, 3.9 to 2.6%, 2.69 to 2.01 Mcal kg⁻¹ and 4.91 to 4.59 Mcal kg⁻¹, respectively. Toluene DM content was 3.4 percent greater than that obtained in the oven, therefore toluene based composition was diluted between 12 and 20% depending on growth stage and specific component analyzed. A positive interaction was found between method of DM determination and protein content, showing that at early stages, the effects of oven drying on N losses were more pronounced. It was concluded that for direct cut oat silages, without use of additives, the DM determined in the oven should be increased by the factor 3.4 to compensate for the loss of volatile compounds.

Key words: oats, silage, dry matter, toluene.

RESUMEN

En el Centro Regional de Investigación Remehue, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Osorno, Chile, se realizó un estudio para conocer el efecto de dos métodos para determinar materia seca (MS) en la composición química de ensilajes directos de avena (*Avena sativa* L.) cv. Llaofén. La avena se cosechó en los estados de elongación de tallos (Temprano), emergencia de panoja (Medio) y grano lechoso-pastoso (Tardío). Las muestras de ensilaje se sometieron a secado en horno de ventilación forzada y destilación por tolueno. Entre los estados Temprano y Tardío, el rendimiento de MS base tolueno, aumentó de 4,7 a 9,7 t ha⁻¹ y la MS tolueno, fibra detergente ácido (FDA) y fibra cruda (FC) aumentaron de 15,4 a 27,4%; 29,8 a 36,7% y de 25,2 a 28,2%, respectivamente; los contenidos de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas (CT) y energía metabolizable (EM) y energía bruta (EB) disminuyeron de 13,7 a 6,6%; 3,9 a 2,6%; 2,69 a 2,01 Mcal kg⁻¹ y 4,91 a 4,59 Mcal kg⁻¹, respectivamente. El contenido de MS tolueno fue 3,4 unidades porcentuales superior que el obtenido en horno, por lo cual, la composición base tolueno experimentó una dilución de 12 a 20% según estado fenológico y componente analizado. Se encontró una interacción positiva entre proteína y método de determinación, indicativa de que en estados tempranos, los efectos del secado en horno sobre las pérdidas de N fueron más pronunciados. Se concluye que en ensilajes directos de avena, sin uso de aditivos, al porcentaje de MS determinado en horno se debiera sumar el factor 3,4 para compensar la pérdida de compuestos volátiles.

Palabras claves: avena, ensilaje, materia seca, tolueno.

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Remehue, Casilla 24-0, Osorno, Chile.
E-mail: jdumont@inia.cl *Autor para correspondencia.

² Universidad Austral, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 567, Valdivia, Chile.
Recibido: 29 de mayo de 2003. Aceptado: 2 de diciembre de 2003.

INTRODUCCIÓN

El estado fenológico de las plantas es un buen indicador de su calidad nutricional, ya que existe una relación de este parámetro con los contenidos de proteína, energía, fibra y minerales. Así, un forraje en estado de hojas, tiene normalmente un alto porcentaje de proteína y alta concentración de energía. En la medida que aparecen los tallos, la planta se hace más fibrosa y lignificada y pierde calidad. Por esta razón, para conseguir un ensilaje de alta calidad, es fundamental que la planta se encuentre con la mayor proporción de hojas posible. Sin embargo, el rendimiento en estados vegetativos tempranos es inferior que en estados más tardíos, por lo que se tiende a atrasar la cosecha para obtener mayor cantidad de forraje con el consiguiente sacrificio de la calidad.

En los cereales de grano pequeño, sin embargo, la acumulación de grano y por lo tanto de energía, con la maduración atenúa el efecto negativo del aumento de fibra, siendo este efecto más marcado en cebada (*Hordeum vulgare* L.) que en avena (*Avena sativa* L.) (Khorasani *et al.*, 1993). De este modo, en el caso de la avena como de otros cereales de grano pequeño, adelantar la fecha de corte no siempre garantiza una mejor repuesta animal (Khorasani y Kennelly, 1997; Baron *et al.*, 2000). Al respecto, Dumont y Lanuza (1990a) determinaron que cuando la avena se cosecha para ensilaje directo, es conveniente hacerlo en estados más tardíos, aún a expensas de una disminución en la digestibilidad del forraje, debido a que el consumo de ensilaje tiende a ser mayor. Adicionalmente, los autores encontraron que la fermentación en el ensilado era más favorable ya que se producía menor cantidad de N amoniacal. En el caso de los cereales de grano pequeño, la recomendación de la literatura internacional es cosechar en estado pastoso (Khorasani *et al.*, 1993; Edmisten *et al.*, 1998).

Adicionalmente, debido a la extensa fermentación heteroláctica que experimentan, los ensilajes de tipo directo contienen compuestos volátiles en alta proporción, y la producción total de ácidos orgánicos y alcoholes puede ser hasta cinco veces más alta que en los premarchitos (McDonald *et al.*, 1991). Asimismo, el N amoniacal suele alcanzar niveles tan altos como 25-28% del N total (Dumont y Lanuza 1990b). En consecuencia, el secado con aire forzado y temperatura produce pérdidas que

son proporcionales a la cantidad de compuestos volatilizados, lo cual incorpora imprecisiones en los resultados analíticos. En este sentido, Anrique (1997), señala la necesidad de determinar el contenido de materia seca con tolueno para evitar las subestimaciones. En general, la magnitud de las pérdidas es dependiente de la volatilidad de los productos de la fermentación, disminuyendo éstas en la medida que aumenta el ácido láctico, que es menos volátil. Sin embargo, las pérdidas de compuestos volátiles aumentan con la temperatura de secado (Porter y Murray, 2001). Lo anterior indica que al mejorar la tecnología de ensilado, minimizando la proteólisis y favoreciendo la fermentación homoláctica, las pérdidas por volatilización disminuyen.

Considerando que la avena es un recurso forrajero importante en el sur de Chile, utilizado en un 26,7% de las explotaciones lecheras (INE, 2001), se planteó este trabajo con el objetivo de conocer el efecto de dos métodos de determinación del contenido de MS, sobre la composición química y valor energético del ensilaje de avena cosechada en tres estados fenológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigaciones Remehue, Osorno, Chile, durante las temporadas 1993-1994 y 1994-1995. Se utilizó avena cv. Llaofén, que emite la panoja entre 100 y 107 días después de la siembra (Beratto, 1982). La siembra se realizó los primeros días de septiembre de cada temporada, luego de una preparación tradicional de suelos consistente en araduras, rastrajes, acción de vibrocultivador y compactación post-siembra con rodillo. Se sembró una superficie de 4 ha, con 160 kg ha⁻¹ de semillas y la fertilización consistió en 200 kg de CaO (Soprocál), 50 kg de N (Nitromag), 150 kg de P₂O₅ (Superfosfato triple) y 100 kg de K₂O (muriato de potasio).

El corte para ensilaje se realizó con una cosechadora de forraje convencional, con repicador de tres cuchillos (John Deere) sin aplicación de aditivos, cuando la avena alcanzó los estados fenológicos y fechas indicadas en el Cuadro 1. La denominación de corte temprano, medio y tardío para los distintos estados fenológicos es válida para los fines del estudio, ya que en rigor, el estado de grano lechoso es anterior al óptimo recomendable para cosecha.

Se confeccionaron dos silos parva por cada estado fenológico, totalizando seis silos en cada temporada, aproximadamente de 4 t de forraje fresco cada uno. Luego de la compactación los silos se sellaron con polietileno negro y se cubrieron con tierra.

La disponibilidad de forraje al momento de la cosecha se evaluó mediante cortes (5 ha^{-1}) a ras de suelo, utilizando marcos ($0,5 \times 1 \text{ m}$) lanzados al azar en la superficie de cosecha, obteniéndose cinco muestras de forraje verde que se secaron en horno durante 48 h a 65°C , para su posterior análisis. Los silos se abrieron después de cuatro meses de confeccionados, para evaluación de la digestibilidad *in vivo* en un estudio paralelo, en periodos de colección de siete días. Se obtuvieron submuestras diarias de 1 kg cada una, en el mismo sitio de los silos, cada vez que se alimentaba a los animales. Estas muestras se cosecharon inmediatamente y se guardaron en congelador para conformar una muestra semanal que se llevó congelada en envases especiales, para realizar los análisis bromatológicos en el Laboratorio de Nutrición del Instituto de Producción Animal de la Universidad Austral de Chile, Valdivia.

La MS de los ensilajes se determinó en material fresco por destilación en tolueno corrigiéndose el destilado por ácidos volátiles y alcohol (Dewar y McDonald, 1964) y por secado en horno (65°C) con ventilación forzada, determinándose los contenidos de fibra cruda (FC), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas totales (CT) según Cundiff (1995) y fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad *in vitro* según Van Soest *et al.* (1991). Sin embargo, solo la energía bruta (EB) se determinó en forma especial con el forraje previamente liofilizado (Parr Instruments Company, Adiabatic Calorimeter, Moline, Illinois, USA.) La energía metabolizable (EM) se estimó por regresión a partir del valor

D (materia orgánica digestible/MS x 100) por la relación $EM = 0,0325 D\% + 0,279$ (Garrido y Mann, 1981). La composición base tolueno de los ensilajes corresponde a la composición base estufa corregida por la MS base tolueno. El contenido de N amoniacal (NNH_3) y el pH se determinaron en material fresco según MAFF (1986), y Playne y McDonald (1966), respectivamente.

Se utilizó un diseño factorial A*B completamente aleatorizado combinado sobre diferentes años en bloques completos al azar cuyo modelo corresponde a:

$$Y = \mu + \alpha + \gamma(\alpha) + A + \alpha * A + B + \alpha * B + A * B + \alpha * A * B + E$$

donde: Y= variable aleatoria continua con las mediciones de las respuestas a los tratamientos; μ = media general; α = factor aleatorio correspondiente al efecto del año; γ = factor aleatorio correspondiente al efecto de la repetición de los tratamientos; A= factor fijo que contiene el efecto del estado de madurez del ensilaje; B= factor fijo que contiene el efecto de la técnica de laboratorio; E= error experimental residual (se asume con distribución normal y varianza independiente); $\gamma(\alpha)$ = repetición anidada dentro de año, * = efecto de interacción de factores.

Los datos incorporados al análisis estadístico correspondieron a las cuatro repeticiones de cada uno de los silos por estado fenológico y se sometieron a ANDEVA y análisis de regresión utilizando el paquete tecnológico SAS (SAS Institute, 1993), para los siguientes factores: a) Estado fenológico del forraje al ensilar: temprano (elongación de tallos); medio (emergencia de panoja); y tardío (grano lechoso a pastoso), y b) Sistema de secado de las muestras de ensilaje: horno con aire forzado y destilación por tolueno.

Cuadro 1. Estados fenológicos y fechas de corte de avena en dos temporadas.

Table 1. Phenological stages and harvesting dates of oats in two seasons.

Estado fenológico	Fechas de cosecha	
	1993-1994	1994-1995
Elongación de tallos (temprano) 36 *	12 dic. 1993	13 dic. 1994
Emergencia de panoja (medio) 53 *	20 dic. 1993	20 dic. 1994
Grano lechoso a pastoso (tardío) 83 *	20 enero 1994	13 enero 1995

* Equivalencia: Zadoks *et al.*, 1974.

RESULTADOS

Producción de forraje

Hubo un aumento significativo ($P < 0,001$) en el rendimiento de forraje con el avance de madurez de la avena (Cuadro 2). En la primera temporada el rendimiento de MS fue mayor ($P < 0,05$) con una tasa promedio de crecimiento entre siembra y tercer corte de 87,5 kg MS d⁻¹, comparada con un promedio de 74,5 kg MS d⁻¹ para la segunda temporada.

Composición química y digestibilidad

En los Cuadros 3 y 4 se resume la composición química de los ensilajes según estado fenológico y método de determinación de MS.

El contenido de MS y de fibra (FC, FDA) aumentó ($P < 0,01$) con la madurez del cultivo, independientemente del método de determinación de MS. Desde el estado de elongación de tallos a inicio de emergencia, el contenido de MS aumentó a una tasa más baja que el contenido de fibra (1,2 vs. 2,2% diario, respectivamente), tendencia que se invirtió posteriormente hasta el estado de grano lechoso (Figura 1). Entre los estados fenológicos extremos, el incremento de MS representó 89,8 y 78% para secado por estufa y destilación por tolueno, respectivamente, lo que equivale a una tasa diaria promedio de 0,38 unidades porcentuales.

La concentración de PC, CT, EE y la digestibilidad (valor D) disminuyó desde el estado vegetativo hasta pasado el inicio de emergencia de panoja y posteriormente se redujo a una tasa menor para tender a estabilizarse hacia el estado tardío. La tasa promedio diaria de disminución conjunta de la PC, CT y EE entre elongación de tallo y emergencia de espiga fue de 2,9% d⁻¹, para luego reducirse a 0,9% por día hasta grano lechoso. Para estas fracciones, las tasas de disminución fueron bastante similares. En cambio, la tasa diaria de disminución de la digestibilidad (valor D) se duplicó pasada la emergencia de espiga (0,54 vs. 1,0 % d⁻¹).

El contenido de MS determinado por tolueno fue más elevado que el determinado por estufa ($P < 0,01$), en 3,4 unidades porcentuales en promedio y no hubo interacción entre método de determinación de MS y el estado fenológico (Figura 1). Al expresar la composición de los ensilajes en base a la MS por tolueno, la concentración de PC, FC, FDA y CT se redujo en forma significativa ($P < 0,001$). Para el caso de la proteína se observó una interacción positiva entre estado fenológico y sistema de determinación de MS, de tal modo que en etapas tempranas del cultivo, las diferencias en contenido de proteína fueron mayores que en el estado de madurez más avanzada. Para el resto de los componentes analizados, no hubo interacción entre el estado fenológico y método de determinación de MS.

No se detectó un efecto significativo del estado fenológico sobre la calidad fermentativa y tampoco hubo interacción de año con estado fenológico. En la primera temporada, los contenidos de N-NH₃ fueron más altos que en la segunda temporada (13,2 vs. 7,4; 11,0 vs. 8,7 y 10,4 vs. 6,7) y el pH se mantuvo en niveles normales en ambas temporadas (4,3 vs. 3,91; 3,97 vs. 3,81 y 3,95 vs. 4,19), para los cortes temprano, intermedio y tardío, respectivamente. El contenido de N-NH₃ también disminuyó con el avance de la madurez. Rojas y Catrileo (2000) utilizando urea como aditivo, encontraron que en cebada cosechada en tres estados de madurez, el nitrógeno amoniacal aumentaba con la madurez, lo que aumenta la cantidad de amonio.

Valor energético

El contenido de EB del ensilaje (calculada solo en este solo caso por liofilización), disminuyó en el estado fenológico tardío ($P < 0,001$) (Cuadro 4), existiendo interacción entre estado fenológico y método de determinación de MS ($P < 0,001$), indicativa que diferencias de EB debidas al secado por (liofilización vs. horno), fueron mayores en estados tempranos que tardíos (Cuadro 4). La diferencia en el contenido de EB entre métodos para el corte

Cuadro 2. Rendimiento de MS al corte (t MS ha⁻¹) por estado fenológico de la avena y por temporada.
Table 2. Dry matter yields of oats at cutting (t DM ha⁻¹) according to phenological stage and harvesting season.

Época de corte	Temprano	Medio	Tardío	Significancia
Temporada 1	5,42 a	7,04 b	10,5 c	0,001
Temporada 2	3,91 a	5,66 b	8,95 c	0,001

Letras diferentes en cada fila indican diferencias significativas según Test de Tukey.

temprano fue de 8,8%, que se redujo a 6,3 y 3,6% en los estados medio y tardío, respectivamente.

De igual manera, el contenido de EM disminuyó con la edad de la planta (Figura 2), de 2,69 a 2,01 Mcal EM kg⁻¹ MS, respectivamente. La disminución en la EM entre los dos primeros estados (temprano a medio) fue leve (1,9%) y posteriormente disminuyó de manera marcada hasta el estado tardío (20,5%) siguiendo un patrón de respuesta no lineal (Figura 2). En los estados temprano, medio y tardío, la EM promedio para ambos métodos representó un 57,2; 56,1 y 44,6% de la EB, respectivamente. La

tasa de disminución de la EM pasada la emergencia de espiga fue de 0,02 Mcal d⁻¹.

DISCUSIÓN

Producción de forraje

La disponibilidad de forraje en el corte más tardío fue alta (de 8-11 t MS ha⁻¹), considerando que una pradera normalmente produce 3-4 t MS ha⁻¹ en un solo corte. Sin embargo, estos rendimientos son similares a los obtenidos con avena en la zona sur por Teuber y Dumont (Comunicación personal, 1985), Dumont y Lanuza (1990a), y Teuber *et al.*

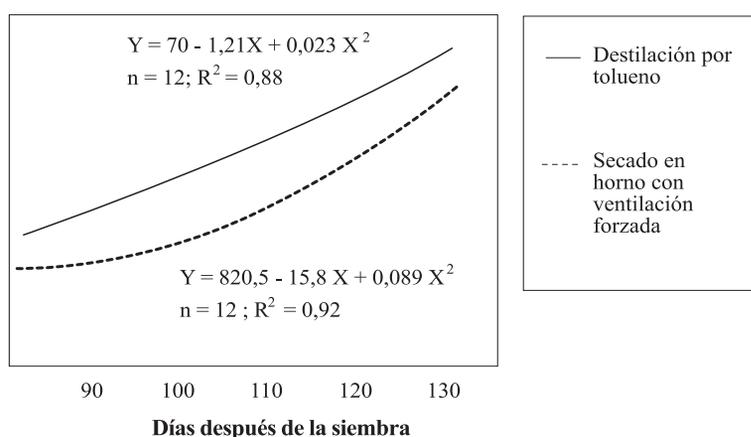


Figura 1. Evolución del contenido de materia seca del ensilaje de avena según estado fenológico y método de determinación de MS.

Figure 1. Dry matter evolution of oat silage according to phenological stage and method of DM determination.

Cuadro 3. Composición del ensilaje de avena según estado fenológico y método de determinación del contenido de MS.

Table 3. Composition of oat silages according to phenological stage and method of determination of DM content.

	Temprano		Medio		Tardío		Significancia	
	E	T	E	T	E	T	Estado fenológico	Sistema secado
Materia seca, % Base 100% MS	12,7	15,4	13,8	17,9	24,1	27,4	0,001	0,001
Cenizas, %	11,0	9,0	9,0	7,0	7,1	6,3	0,001	0,001
Proteína cruda, %	16,6	13,7	11,9	9,1	7,6	6,6	0,001	0,001
Fibra cruda, %	30,6	25,1	35,9	27,9	34,9	28,1	0,06	0,001
FDA, %	36,2	29,8	42,0	32,5	41,7	36,7	0,001	0,001
EE, %	3,9	ND	3,2	ND	2,6	ND	0,01	ND
Valor D, %	74,1	ND	71,1	ND	52,3	ND	0,001	ND

E = Secado con estufa; T = destilación con tolueno; FDA = fibra detergente ácido; EE = extracto etéreo; Valor D = materia orgánica digestible/MS x 100; ND = no determinado.

Cuadro 4. Contenidos de energía bruta (EB) y energía metabolizable (EM) en relación con el método de determinación de MS y el estado fenológico del cultivo.**Table 4. Gross energy (EB) and metabolizable energy (ME) contents according to method of dry matter determination and phenological stage of the crop.**

Determinación	Estado fenológico			Significancia
	Temprano	Medio	Tardío	
EB liofilización, Mcal kg ⁻¹	4,91 a	4,76 a	4,59 b	0,001
EB aire forzado, Mcal kg ⁻¹	4,51 a	4,48 a	4,43 b	0,016
EM, Mcal kg ⁻¹	2,69	2,59	2,01	0,004

Valores con la misma letra en cada fila no presentan diferencias significativas según Test de Tukey.

(2002), con variedades de precocidad similar y también resultan similares a los reportados en la literatura (McDonald y Wilson, 1980; Baron *et al.*, 2000; Helm y Salmon, 2002) demostrando el potencial de la avena para producir altos volúmenes de MS. Comparativamente con otros cereales de grano pequeño, a igual estado fenológico, la avena tiende a entregar similares rendimientos de MS, aunque asociados a un mayor contenido de fibra (Khorasani *et al.*, 1993). Por ejemplo, en cebada, se ha encontrado que en estado de granos pastosos la energía puede llegar a 2,4 Mcal EM kg⁻¹ MS comparado con 2,0-2,1 en avena (Dumont y Valdebenito, 2001). Un resultado interesante lo entrega Rojas *et al.* (2004), en triticale (*X Triticosecale* Wittmack), en estado de “emergencia de panoja” que produjo un rendimiento de 16 t MS ha⁻¹.

Composición química y digestibilidad

Los contenidos de MS, que fluctuaron con el avance de la madurez entre 13% en el corte temprano y 27,4% en el corte más tardío realizado al estado de grano pastoso, se encuentran dentro de lo esperado (Baron *et al.*, 2000). En general, el máximo rendimiento se obtiene cuando la avena alcanza alrededor de 50% de MS, sin embargo, la máxima producción de nutrientes por hectárea se obtiene cercano al estado de grano harinoso (Dumont y Lanuza, 1990a; Baron *et al.*, 2000).

Los contenidos de MS del forraje en los cortes tempranos, son bajos e insuficientes para optimizar las condiciones de fermentación en el ensilado. El elevado contenido de agua afecta la calidad fermentativa, al favorecer la fermentación heteroláctica por un menor contenido de carbohidratos solubles y por una acidificación lenta que limita la fermentación acidoláctica (McDonald *et al.*, 1991). La pobreza en carbohidratos solubles de la avena (Dumont y Lanuza, 1990b), sumada a su dilución por el alto contenido de agua, es una de las razones

que explicaría este problema. Entre las tecnologías disponibles para superar esta dificultad se encuentra el uso de aditivos, frecuentemente limitado por su disponibilidad y costos, o el premarchitamiento del forraje, que requiere de maquinaria especializada. Aditivos más económicos como el caso de la urea no han resultado satisfactorios (Elizalde y Gallardo, 2003). Por consiguiente, si no es posible utilizar alguna de esas tecnologías, lo recomendable sería ensilar la avena en estado de madurez más avanzada, sin superar el grano pastoso.

La superioridad promedio de 3,4 unidades porcentuales en los contenidos de MS, expresados base tolueno, respecto del secado en horno es coincidente, aunque algo inferior a las 3,7 unidades encontradas por Moreira (1995) para ensilajes directos, y ambas son superiores a las encontradas en otros estudios (Demarquilly, 1973; Givens *et al.*, 1993), que no superan las dos unidades porcentuales. Una diferencia aún menor, cercana a 1,0%, ha sido determinada para ensilajes confeccionados con

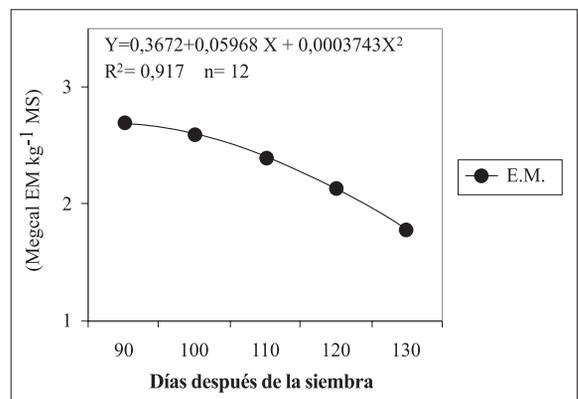


Figura 2. Evolución del contenido de energía metabolizable del ensilaje de avena según estado fenológico.
Figure 2. Evolution of metabolizable energy of oat silage according to phenological stage.

empleo de premarchitamiento, corte de precisión y aplicación de aditivos biológicos, y también se han encontrado diferencias al comparar el efecto de aditivos biológicos con aditivos químicos como el ácido fórmico (Porter y Murray, 2001). Según los investigadores citados, la pérdida de compuestos volátiles es mayor en ensilajes directos sin aditivos, confeccionados con maquinaria que no permite regular el tamaño de picado. A este respecto, es necesario resaltar que los ensilajes directos, sin uso de aditivos, representan cerca de 70% de los ensilajes realizados en Chile (Wilkinson *et al.*, 2003). Lo anterior confirma el impacto de la tecnología de ensilado en la pérdida de compuestos volátiles, tales como ácidos, alcoholes y compuestos amoniacales al secar en estufa con aire forzado (Van Soest y Robertson, 1985; McDonald *et al.*, 1991) lo cual permite explicar las mayores pérdidas encontradas en el presente estudio, y a la vez demuestra que existe una brecha tecnológica en confección de ensilajes.

En síntesis, el uso de tecnologías como el premarchitamiento y empleo de aditivos biológicos, genera productos de la fermentación menos volátiles, como el ácido láctico y un bajo contenido de compuestos altamente volátiles como alcoholes, ácido láctico y N amoniacal (Porter y Murray, 2001). En consecuencia, y debido a la dificultad de realizar la destilación por tolueno de manera rutinaria, es importante disponer de factores de corrección suficientemente precisos, que variarán según la calidad del ensilaje, para expresar su composición en base a su contenido de MS real.

La disminución más acelerada de la digestibilidad (Valor D), pasada la emergencia de espiga, corresponde al patrón característico de gramíneas y de cereales forrajeros, aunque la tasa de disminución encontrada para la avena ($1,0\% \text{ d}^{-1}$) es superior a la mayoría de las reportadas para ensilajes de pradera en otros estudios ($0,55\% \text{ d}^{-1}$, Ulloa, 1994; $0,7\text{-}0,9\% \text{ d}^{-1}$, Moreira, 1995; $0,56\% \text{ d}^{-1}$, Castro, 1996), lo que es consecuencia de la maduración precoz del cultivo de avena, comparada con praderas u otros cereales de grano pequeño (Baron *et al.*, 2000). Esta disminución ocurrió de manera más marcada que el aumento en el contenido de fibra (FDA), lo que demuestra el impacto que ejerce la madurez de la planta, debido a una mayor lignificación, en la digestibilidad de la fibra y de la MS.

La interacción significativa entre estado fenológico y el sistema de determinación de MS para proteína, es indicativa de una mayor proteólisis en el corte temprano, debido a que el mayor contenido de proteína (16-18%) probablemente estaba asociado a un menor contenido de carbohidratos solubles y mayor contenido de N amoniacal, característico de los ensilajes tempranos de avena (Dumont y Lanuza, 1990b).

Valor energético

La disminución más marcada en el contenido de EB del ensilaje (que solo en este caso se liofilizó) comparado con el material secado en horno, indica una pérdida mayor de compuestos volátiles en estados fenológicos tempranos que en los tardíos, a lo que se debe sumar la disminución progresiva del EE, constituido por lípidos que aportan energía. En general, debido a un mayor valor calórico de los productos de la fermentación, tanto la MS total como la MS digestible de los ensilajes poseen un mayor contenido de EB (5-7%), comparado con los forrajes no fermentados (Edwards, 1989; Barber *et al.*, 1990; Anrique *et al.*, 1996). Sin embargo, se debe tener presente que la EB se determinó en ensilaje liofilizado por la imposibilidad de medirla en el material fresco, y como la liofilización no impide que se produzca una pequeña pérdida por volatilización, la EB determinada en los ensilajes podría estar ligeramente subestimada.

La reducción del contenido de EM que se observa al avanzar la madurez (Figura 2), demuestra que el almidón acumulado hasta el estado de grano lechoso de la avena fue insuficiente para compensar el aumento en cantidad y lignificación de la fibra en tallos y hojas. Ésta es una característica distintiva de la avena, cuyos componentes del rendimiento son más desfavorables que en otros cereales de grano pequeño (Khorasani y Kennelly, 1997). Al respecto, Dumont y Lanuza (1990a) encontraron que en avena en estado de grano lechoso, el aporte de los granos explicaba un 40% del peso de la planta. En el caso de la cebada el aporte de los granos representa 60% de la planta, lo cual explica los mayores valores de digestibilidad y EM de este cereal forrajero en relación con la avena. La disminución no lineal del contenido de EM observada hasta el corte tardío (grano lechoso), es atribuible a un aumento en la cantidad y lignificación de la fibra, y a que en este estado la acumulación de

almidón es aún baja, por lo que no alcanza a atenuar el efecto negativo de la fibra descrito antes.

La tasa de disminución de la EM pasada la emergencia de espiga de la avena ($0,02 \text{ Mcal d}^{-1}$), es coincidente con la tasa de $0,025 \text{ Mcal d}^{-1}$ encontrada por Moreira (1995) para ensilajes de pradera. La reducción del contenido de EM es similar a la experimentada en la digestibilidad de la MS, con la que está altamente correlacionada ($r > 0,90$), por lo cual la digestibilidad al momento del corte es altamente determinante del contenido de EM del ensilaje (Castro, 1996). Sin embargo, al decidir el momento de corte para la confección de ensilajes directos de avena, la digestibilidad no debe ser el único factor a considerar, lo cual es reforzado por los resultados encontrados.

CONCLUSIONES

Del presente estudio, válido para ensilaje de avena de confección directa sin empleo de aditivos, se puede concluir lo siguiente:

Al avanzar la madurez de la avena hasta el estado de grano lechoso, el contenido de EM se reduce de manera más acelerada que en los estados previos, debido a que la digestibilidad baja a una tasa diaria de $1\% \text{ d}^{-1}$, equivalente a $0,02 \text{ Mcal kg}^{-1} \text{ MS}$ diaria.

La disminución de digestibilidad con la madurez es más acentuada que el aumento de fibra, siendo la acumulación de grano insuficiente para contrarrestar el efecto negativo de este incremento y demuestra el fuerte efecto negativo de la maduración de la planta en la digestibilidad. Por lo tanto, se deben evitar los cortes tempranos, asociados a un elevado contenido de agua, y los muy tardíos ligados a una digestibilidad excesivamente baja.

El método convencional de secado del ensilaje en horno a 65°C , entrega un valor de MS 3,4 unidades porcentuales más bajo que el método de destilación por tolueno. En consecuencia, para expresar la composición del ensilaje de avena en base al contenido de MS real, se recomienda adicionar dicho factor al contenido de MS determinado en horno.

RECONOCIMIENTO

Los autores desean agradecer con especial atención al Dr. Horacio Miranda, de la Universidad de la Frontera, Temuco, por su contribución y asistencia en los análisis estadísticos.

Este trabajo fue presentado en el Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal (SOCHIPA A.G.) en Chillán, 2-4 de octubre de 2002.

LITERATURA CITADA

- Anrique, R.G., V. Moreira, J.C. Dumont, y D. Alomar. 1996. Predicción del contenido de energía metabolizable *in vivo* de ensilajes de corte directo. *Agric. Téc. (Chile)* 56:231-236.
- Anrique, R.G. 1997. Predicción del valor energético de ensilajes y henos. Serie B-12. 440 p. *In* L. Latrille y O. Balocchi (eds.) *Conservación de forrajes*. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal, Valdivia, Chile.
- Barber, G.D., D.I. Givens, M.S. Cridis, and N.W. Murray. 1990. Prediction of the organic matter digestibility of grass silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 28:115-128.
- Baron, V.S., E. Okine, and A.C. Dick. 2000. Optimizing yield and quality of cereal silage. Available at <http://www.weds.afns.ualberta.ca/proceedings/2000/chapter30.htm> Accessed July 6, 2004.
- Beratto, E. 1982. Llaofén-INIA, nueva variedad de avena con más rendimiento de grano. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca* 1(1):10-12.
- Castro, E.A. 1996. Digestibilidad y energía metabolizable *in vivo* de ensilaje de avena en tres estados fenológicos. 92 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Cundiff, P. (ed.). 1995. *Official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 16th ed. Arlington, Virginia, USA.
- Demarquilly, C. 1973. Composition chimique caractéristiques fermentaires, digestibilité et quantité ingerée des ensilages de fourrages. *Annales de Zootechnie* 22 (1):1-35.
- Dewar, W., and P. McDonald. 1964. Determination of dry matter in silage by distillation with toluene. *J. Sci. Food Agric.* 12:790-795.

- Dumont, J.C., y F. Lanuza. 1990a. Producción y composición química de la avena (*Avena sativa* L.) en diferentes estados de desarrollo. *Agríc. Téc. (Chile)* 50:1-6.
- Dumont, J.C., y F. Lanuza. 1990b. Utilización de ensilaje de avena en dos estados fenológicos y respuesta a la suplementación proteica en vaquillas. *Boletín Técnico* N° 163. 11 p Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Remehue, Osorno, Chile.
- Edmisten, K.L., J.T. Green, J.P. Mueller, and J.C. Burns. 1998. Winter annual small grain forage potential. I. Dry matter yield in relation to morphological characteristics of four small grain species at six growth stages. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 29(7-8):867-879.
- Edwards, R.A. 1986. The energy value of grass silage. p. 66-75. *In* B.A Stark, J.M. Wilkinson and D. Givens (eds.). *Ruminant Feed Evaluation and Utilization*. Chalcombe Publications, Marlow, UK.
- Elizalde, H.F., y M. Gallardo. 2003. Evaluación de ensilajes de avena y cebada en la ganancia de peso de vaquillas en crecimiento. *Agríc. Téc. (Chile)* 63:380-386.
- Garrido, O., y E. Mann. 1981. Composición química, digestibilidad y valor energético de una pradera permanente de pastoreo a través del año. 63 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile.
- Givens D. J., A.R. Moss, and A. H. Adamson. 1993. The digestibility and energy values of badly preserved grass silages. *Animal Feed Sci. and Technol.* 42:97-107.
- Helm, J. and F. Salmon. 2002. Cereal silage options for Western Canada. Available at <http://www.wcds.ualberta.ca/proceedings/2002/chapter%2019%20Helm.htm> Accessed July 6, 2004.
- INE. 2001. Estudio de la Ganadería Bovina Provincias de Valdivia, Osorno, Llanquihue. 65 p. Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Santiago, Chile.
- Khorasani, G.R., and J.J. Kennelly. 1997. Optimizing cereal silage quality. *Adv. in Dairy Techn.* 9:249-272.
- Khorasani, G.R., E.K. Okine, J.J. Kennelly, and J.H. Helm. 1993. Effect of whole crop cereal grain silage substituted for alfalfa silage on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:3536-3546.
- MAFF. 1986. The analysis of agricultural materials. 239 p. 3rd ed. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF). Agricultural Development and Advisory Service, London, UK.
- McDonald, P., A.R. Henderson, and S.J.E. Heron. 1991. *The biochemistry of silage*. 399 p. 2nd ed. Chalcombe Publications, Marlow, U.K.
- McDonald, R.C., and K.R. Wilson. 1980. Dry matter yields, digestibilities, mineral levels, and cattle growth rates on greenfeed oats at different stages of development. *N. Z. J. Exp. Agric.* 8:105-109.
- Moreira, L.V. 1995. Predicción de la digestibilidad y energía (EM, ED) *in vivo* de ensilajes de pradera permanente en tres estados fenológicos, a partir de parámetros químicos y biológicos 123 p. Tesis M.Sc. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Porter, M.G., and R.S. Murray. 2001. The volatility of components of grass silage on oven drying and their inter-relationship between dry-matter content estimated by different analytical methods. *Grass Forage Sci.* 56:405-411.
- Rojas, C., y A. Catrileo. 2000. Evaluación de ensilaje de cebada en tres estados de corte en la engorda invernal de novillos. *Agríc. Téc. (Chile)* 60:370-378.
- Rojas, C., A. Catrileo, M. Manríquez, y F. Calabí. 2004. Evaluación de la época de corte de triticale (*X Triticosecale* Wittmack) para ensilaje. *Agríc. Téc. (Chile)* 64:34-40.
- SAS. 1993. *SAS/STAT User's Guide*, Version 6. 943 p. 4th ed.. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Teuber, N., L. Goic, y H. Navarro. 2002. Rendimiento y calidad de los cereales de grano pequeño como ensilaje. *Informativo* N° 35. 2 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Remehue, Osorno, Chile.
- Ulloa, M.M. 1994. Evaluación de un aditivo enzimático (Grasszyme) en ensilajes de pradera de corte directo a distintos estados de madurez. 53 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Van Soest, P.J., and J.B. Robertson. 1985. *Analysis of forages and fibrous food. A laboratory manual for animal science*. 613 p. Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Wilkinson, J.M., and M.I. Toivonen. 2003. *World silage*. 204 p. Chalcombe Publications, Marlow, UK.
- Zadoks, J., Changt, and C. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.