

ENSILADO DE REMOLACHA: COMPOSICIÓN QUÍMICA, PARÁMETROS DE FERMENTACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA EN EL INFRARROJO CERCANO (NIRS) PARA LA IDENTIFICACIÓN DE DISTINTAS VARIEDADES

BEET SILAGE: CHEMICAL COMPOSITION, FERMENTATION PARAMETERS AND USE OF NIRS TECHNOLOGY AS A TOOL TO IDENTIFY ENSILED BEET VARIETIES

C. VALDÉS¹, S. ANDRÉS¹, M.L. TEJIDO¹, R. GARCÍA¹, F.J. GIRÁLDEZ¹ Y P. LLORENTE²

¹Instituto de Ganadería de Montaña (CSIC- Universidad de León). Departamento de Producción Animal. Universidad de León. E-24071. León (España). cvals@unileon.es. ²Grupo INATEGA. Ctra. Valdefresno 2. 24228. Corbillos de la Sobarriba. León. España pablollorete@inatega.com

RESUMEN

El empleo de raíces de remolacha en la alimentación del vacuno de leche se ve limitado por el escaso conocimiento acerca de las características de este alimento una vez ensilado. Para estudiar la composición química y los principales parámetros de fermentación de ensilados de remolacha y explorar la posibilidad de emplear la tecnología de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para la estimación de los parámetros estudiados y para discriminar distintas variedades de remolacha, se ensilaron raíces de cuatro variedades de remolacha (Sandrina KWS 1193, Tilly KWS 2733, Gerty KWS 2734 y Páramo 3359) empleando micro-silos de 600 ml de capacidad. Se detectaron diferencias ($P<0,05$) entre variedades en todos los parámetros de composición química de los ensilados, aunque en el caso de la proteína sólo la variedad Tilly KWS 2733 presentó un contenido diferente ($P<0,05$) a los del resto de las variedades. El pH alcanzó valores menores que 4 para todas las variedades y la fermentación fue principalmente acética. Los espectros NIRS de las muestras de ensilado en fresco no permitieron ni discriminar entre las variedades ensiladas ni predecir la composición química. Sin embargo, los resultados con las muestras secas y molidas sí apuntan la posibilidad de emplear la tecnología NIRS con ambos fines. Los espectros NIRS de los jugos del ensilado también podrían resultar útiles para establecer la variedad de remolacha ensilada.

Palabras clave: micro-silos, fermentación, espectroscopia.

SUMMARY

The use of beet root for the purpose of feeding the dairy cattle could be constrained by the scarce knowledge about the characteristics of this feed after it has been ensiled. To investigate the feasibility of using the NIRS methodology to analyze the chemical composition of ensiled beets and to discriminate between beet varieties, roots of four beet varieties were ensiled (Sandrina KWS 1193, Tilly KWS 2733, Gerty KWS 2734 and Páramo 3359) using laboratory silos (600 ml of capacity). Although small differences ($P<0.05$) in chemical composition were found between treatments, the range of variation was narrow, especially for crude protein, which reached low and quite uniform values. The pH values were lower than 4 for all the varieties and the fermentation was mainly acetic. Whereas NIRS spectra of raw silages did not allow beet varieties discrimination or chemical composition prediction, spectra from dried and milled samples suggest that NIRS technology could be used as a tool for both purposes. NIRS spectra of silage juices could also be useful to establish beet variety.

Key words: micro-silos, fermentation, spectroscopy.

INTRODUCCIÓN

El empleo del ensilado de raíces remolacha como un alimento energético para el ganado vacuno de leche se ha propuesto como una posible alternativa al uso del ensilado de maíz (Beauchemin, 2006). Existen numerosas variedades de remolacha de las que se dispone de mucha información, especialmente en lo que respecta a sus características como cultivo azucarero. Sin embargo, es escaso conocimiento del que se dispone acerca del potencial valor nutritivo de las distintas variedades de remolacha una vez ensiladas. De existir diferencias importantes entre las distintas variedades, sería oportuno disponer de instrumentos capaces de discriminarlas con cierta sencillez. Por tanto, los objetivos de este trabajo fueron, en primer lugar, comparar la composición química y los principales parámetros de fermentación de cuatro variedades de remolacha y, en segundo lugar, explorar la posibilidad de emplear la tecnología NIRS para la estimación de los parámetros estudiados y para discriminar distintas variedades de remolacha.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este trabajo se emplearon raíces de cuatro variedades de remolacha: Sandrina KWS 1193 (SAND), Tilly KWS 2733 (TILL), Gerty KWS 2734 (GERT) Y Páramo 3359 (PARAM), aportadas por la Asociación para

la Investigación de la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera. Cada variedad se ensiló por cuadruplicado en sendos microsilos. Los microsilos consisten en tubos de PVC de 600 mL de capacidad (30 cm de alto y 5 cm de diámetro) con un tapón de goma en cada extremo que permite el cierre hermético una vez introducido el forraje a ensilar. Cada microsililo dispone de una válvula que permite la salida de los gases de fermentación pero impide la entrada de aire. En cada microsililo se introdujeron, aproximadamente, 350 g de raíces troceadas de cada una de las variedades de remolacha, presionando para evitar, en lo posible, la presencia de aire. Los ensilados se elaboraron la cuarta semana de octubre de 2012 y se abrieron la tercera semana de enero de 2013.

Se determinó la composición química de las muestras de las variedades de remolacha antes y después del proceso de ensilado. El contenido en materia seca (MS) se determinó mediante liofilización. Sobre las muestras desecadas se analizaron los siguientes parámetros: contenidos de cenizas (CEN) y proteína bruta (PB; nitrógeno $\times 6,25$), siguiendo los procedimientos propuestos por la AOAC (1999); la fibra neutro detergente (FND) se determinó siguiendo la técnica descrita por Van Soest *et al.* (1991), mientras que para la determinación de la fibra ácido detergente (FAD) se siguió el procedimiento propuesto por Goering y Van Soest (1970).

Sobre los ensilados resultantes se determinaron también los parámetros de fermentación (pH y ácidos acético, propiónico, butírico y láctico) y se recogió el espectro NIRS. Para determinar los parámetros de fermentación se homogenizaron 50 g de ensilado con 450 ml de agua destilada; el homogeneizado obtenido se filtró a través de 4 capas de gasa y el pH se determinó sobre el líquido filtrado. La concentración de ácidos grasos volátiles y de ácido láctico en los ensilados se analizó siguiendo el procedimiento descrito por Carro *et al.* (1999).

Se recogió el espectro NIRS de las muestras de remolacha ya ensilada, tanto de muestras en fresco y sin moler, como de muestras liofilizadas y molidas a 1 mm, así como del líquido obtenido mediante filtración (jugos). Se empleó un espectrofotómetro InfraAlyzer 500 (Bran+Luebbe GmbH, Norderstedt, Germany) utilizando cápsulas circulares cerradas con ventana de cuarzo para el material sólido y una cápsula de transreflectancia para los jugos. La recogida de los espectros y el tratamiento matemático empleado en el proceso de calibración se realizó tal como se describe en Andrés *et al.* (2004). En este trabajo sólo se presentan los estadísticos de las ecuaciones de predicción que tuvieron los errores estándar de calibración (EEC) más bajos.

Los datos referentes a la composición

química y a los parámetros de fermentación de los ensilados se sometieron a análisis de varianza simple (Steel y Torrie, 1981) para estudiar el efecto de la variedad de remolacha ensilada. La comparación entre medias se realizó mediante el test de Duncan (Steel y Torrie, 1981). Para la realización de estos procedimientos se utilizó la aplicación PROC GLM de SAS (2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra la composición química de las raíces de las cuatro variedades de remolacha estudiadas en este trabajo. De acuerdo con el contenido en MS, las variedades de remolacha pueden clasificarse como forrajeras (7,5 a 11% de MS), forrajeras-azucareras (11-17% de MS) y azucareras-forrajeras, con más del 17% de MS (Guerrero García, 1999). En el presente trabajo, pues, aunque la cuatro variedades pueden clasificarse como azucareras, la variedad TILL (MS=157 g/kg) se diferencia del resto y se clasificaría como forrajera-azucarera.

Las cuatro variedades de remolacha, una vez ensiladas, presentan diferencias ($P<0,05$) en los parámetros de composición química analizados (Tabla 2). La variedad TILL es la que presenta un menor ($P<0,05$) contenido de MS y un mayor ($P<0,05$) contenido de cenizas, así como los mayores contenidos en fibra, tanto de FND como de FAD.

Tabla 1. Contenidos de materia seca (MS; g/kg), cenizas (CEN; g/kg MS), proteína bruta (PB; g/kg MS), fibra neutro detergente (FND; g/kg MS) y fibra ácido detergente (FAD; g/kg MS) de las raíces de las cuatro variedades de remolacha antes de ensilar*.

	SAND	TILL	GERT	PARAM
MS	214	157	206	228
CEN	17,5	42,5	29,1	17,4
PB	22,1	22,0	19,6	22,8
FND	80,0	148	125	82,3
FAD	52,3	59,7	81,3	48,2

*Sandrina KWS 1193 (SAND), Tilly KWS 2733 (TILL), Gerty KWS 2734 (GERT) y Páramo 3359 (PARAM)

En el caso de los contenidos de PB, sólo la variedad TILL muestra un valor diferente ($P < 0,05$) y mayor que el del resto de las muestras. Por otra parte, los contenidos en PB y en FND son claramente inferiores a los valores medios para los ensilados de maíz (PB entre 76 y 93 g /kg MS; FND entre 552 y 414 g/kg MS) (Calsamiglia *et al.* 2004) y tampoco alcanzan los valores obtenidos en ensilado de remolacha por Beachemin (2006) (45 g/kg MS y 559 g/kg MS, para la PB y la FND, respectivamente), aunque esta autora elabo-

ró los ensilados mezclando las raíces de remolacha con paja de cebada. Desde el punto de vista del contenido en FND y en PB, la variedad más interesante sería la TILL, aunque la obtención de un alimento más equilibrado, requeriría la mezcla del ensilado de remolacha con forrajes más ricos en PB y en FND, como la alfalfa, permitiría la obtención de alimentos más equilibrados (Valdés *et al.*, 2013).

El pH alcanzó valores menores que 4 en todos los casos (Tabla 3) e inferiores al

Tabla 2. Contenidos de materia seca (MS; g/kg), cenizas (CEN; g/kg MS), proteína bruta (PB; g/kg MS), fibra neutro detergente (FND; g/kg MS) y fibra ácido detergente (FAD; g/kg MS) de los ensilados de las cuatro variedades de remolacha*.

	SAND	TILL	GERT	PARAM	e.e.d. ¹
MS	182 ^c	117 ^a	173 ^b	186 ^d	3,75
CEN	26,2 ^b	51,0 ^d	38,8 ^c	24,1 ^a	1,83
PB	25,4 ^a	28,7 ^b	24,3 ^a	24,7 ^a	1,29
FND	141 ^b	166 ^c	138 ^b	107 ^a	6,88
FAD	67,0 ^a	85,2 ^c	77,9 ^b	66,4 ^a	3,61

¹e.e.d.: error estándar de la diferencia

^{a, b, c, d} Dentro de la misma fila, la diferencia entre valores con distinto superíndice es estadísticamente significativa ($P < 0,05$)

*Sandrina KWS 1193 (SAND), Tilly KWS 2733 (TILL), Gerty KWS 2734 (GERT) y Páramo 3359 (PARAM)

pH 3,86 obtenido por Beauchemin (2006) para el ensilado de remolacha. Por otra parte, la fermentación fue mayoritariamente acética, con la clara excepción de los ensilados de la variedad TILL; en este último caso, la concentración de ácido láctico (34,2 g/kg MS) alcanzó un valor muy próximo al de la concentración de ácido acético (34,7 g/kg MS) (Tabla 3). La variedad TILL también es la que presenta los mayores valores ($P < 0,05$) para la concentración de todos los AGV (Tabla 3).

El análisis de componentes principales con los datos de absorbancia de NIRS obtenidos con las muestras en estado fresco y sin moler no permitió obtener clusters, ya que los espectros de las muestras resultaron ser muy similares. Sin embargo, con las muestras desecadas y molidas, los espectros obtenidos

sí permiten clasificar las variedades de remolacha ensilada, ya que los dos primeros componentes principales explican el 100% de la variabilidad (Figura 1). Así, las variedades GERT y TILL son más parecidas entre sí que las variedades SAND y PARAM, lo cual concuerda con los datos relativos a la composición química, pues separaría las dos variedades que presentan un menor contenido de MS y un mayor contenido en cenizas y FAD de las otras dos variedades (Tabla 2). Por otro lado, los resultados del análisis de componentes principales obtenidos utilizando los datos de absorbancia de NIRS de los jugos también apuntan la posibilidad de discriminar entre muestras. La variabilidad explicada es del 49% y el 26% para el primer y el segundo componente principal, respectivamente. En este caso, el análisis separa las otras tres variedades estudiadas de la variedad TILL

Tabla 3. Parámetros de fermentación: pH, ácidos acético, propiónico, butírico, ácidos grasos volátiles totales (AGV; g/kg MS) y láctico (g/kg MS) de los ensilados de las cuatro variedades de remolacha*.

	SAND	TILL	GERT	PARAM	e.e.d. ¹
pH	3,57 ^c	3,58 ^c	3,43 ^b	3,34 ^a	0,033
Acético	24,6 ^b	34,7 ^d	30,1 ^c	19,2 ^a	1,63
Propiónico	1,22 ^c	1,74 ^d	1,11 ^b	0,97 ^a	0,057
Butírico	0,90 ^b	1,38 ^d	0,94 ^c	0,83 ^a	0,038
AGV	26,7 ^b	37,8 ^d	32,2 ^c	21,0 ^a	1,69
Ácido láctico	12,2 ^b	34,2 ^c	8,95 ^a	12,9 ^b	2,44

¹e.e.d.: error estándar de la diferencia

^{a,b,c} Dentro de la misma fila, la diferencia entre valores con distinto superíndice es estadísticamente significativa ($P < 0,05$)

*Sandrina KWS 1193 (SAND), Tilly KWS 2733 (TILL), Gerty KWS 2734 (GERT) y Páramo 3359 (PARAM)¹e.e.d.: error estándar de la diferencia

^{a,b,c} Dentro de la misma fila, la diferencia entre valores con distinto superíndice es estadísticamente significativa ($P < 0,05$)

*Sandrina KWS 1193 (SAND), Tilly KWS 2733 (TILL), Gerty KWS 2734 (GERT) y Páramo 3359 (PARAM)

(Figura 2), cuyos parámetros fermentativos, con la excepción del pH, son claramente distintos de los del resto de las variedades estudiadas (Tabla 3). El análisis de componentes principales con los datos de absorbancia de NIRS obtenidos con las muestras en estado fresco y sin moler no permitió obtener clusters, ya que los espectros de las muestras resultaron ser muy similares. Sin embargo, con las muestras desecadas y molidas, los espectros obtenidos sí permiten clasificar las variedades de remolacha ensilada, ya que los dos primeros componentes principales explican el 100% de la variabilidad (Figura 1). Así, las variedades GERT y TILL son más parecidas entre sí que las variedades SAND y PARAM, lo cual concuerda con los datos relativos a la composición química, pues separaría las dos variedades que presentan un menor contenido de MS y un mayor contenido en cenizas y FAD de las otras dos variedades (Tabla 2). Por otro lado, los resultados del análisis de componentes principales obtenidos utilizando los datos de absorbancia de

NIRS de los jugos también apuntan la posibilidad de discriminar entre muestras. La variabilidad explicada es del 49% y el 26% para el primer y el segundo componente principal, respectivamente. En este caso, el análisis se para las otras tres variedades estudiadas de la variedad TILL (Figura 2), cuyos parámetros fermentativos, con la excepción del pH, son claramente distintos de los del resto de las variedades estudiadas (Tabla 3).

Los espectros obtenidos a partir de los ensilados en fresco y sin moler no permitieron el establecimiento de ecuaciones de predicción de los parámetros de composición química, posiblemente debido a la estructura heterogénea de cada muestra. Sin embargo, las calibraciones realizadas con las muestras desecadas y molidas, aunque deben observarse con precaución, puesto que el proceso no ha sido sometido a validación, apuntan la posibilidad de obtención de ecuaciones de predicción de los parámetros químicos (Tabla 4).

Tabla 4. Estadísticos de las calibraciones realizadas para estimar las distintas fracciones químicas empleando las muestras desecadas.

	MS	Cenizas	PB	FND	FAD
N	13	13	13	13	13
R ²	0,817	0,964	0,655	0,829	0,874
EEC	0,288	0,325	0,189	1,09	0,394

MS: materia seca; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente. N: número de muestras empleadas para la obtención de las ecuaciones de calibración; R²: coeficiente de determinación para el procedimiento de calibración; EEC: error estándar de calibración.

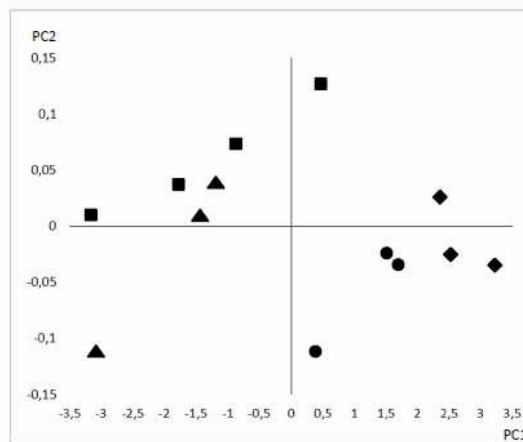


Figura 1. Análisis de componentes principales de los ensilados obtenido a partir de los espectros NIRS de las muestras desecadas y molidas de los ensilados de las cuatro variedades de remolacha: Sandrina KWS 1193 (●), Tilly KWS 2733 (■), Gerty KWS 2734 (▲) y Páramo 3359 (◆)

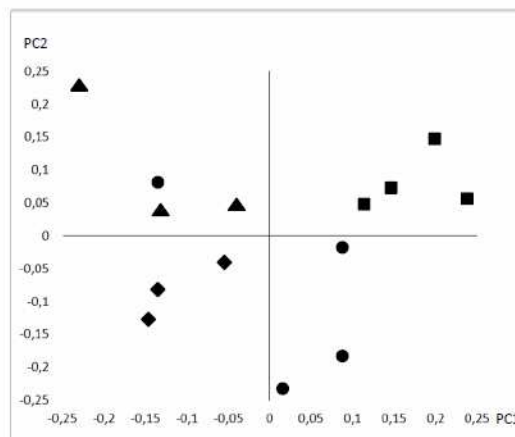


Figura 2. Análisis de componentes principales de los ensilados obtenido a partir de los espectros NIRS de los jugos de los ensilados de las cuatro de remolacha: Sandrina KWS 1193 (●), Tilly KWS 2733 (■), Gerty KWS 2734 (▲) y Páramo 3359 (◆)

CONCLUSIONES

De las cuatro variedades estudiadas, la variedad TILL, con un mayor contenido en PB y en FND que el resto de las variedades, podría ser la más indicada para ensilarse con destino a la alimentación el ganado vacuno. Aunque el número de muestras empleado en este trabajo no permitió establecer ecuaciones de predicción de los parámetros de

composición química empleando la tecnología NIRS, hay que destacar que es posible extraer más información de los espectros de muestras secas y molidas de ensilados de remolacha que de las muestras originales, tanto para discriminar entre variedades como para el establecimiento de ecuaciones de predicción de los parámetros de composición química. Por otra parte, los espectros NIRS de

los jugos del ensilado también podrían resultar útiles para establecer la variedad de remolacha ensilada, lo cual podría resultar útil desde un punto de vista aplicativo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió con el contrato asociado a proyecto CDTI titulado: *Procesado y estudio de variedades de remolacha para su utilización en alimentación animal* (código 100102120005). Organismo financiador: INDUSTRIAS DE NUTRICIÓN ANIMAL, S.L.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrés, S., Valdés, C., Giráldez, F.J., García, R. Y Calleja, A. (2004). Estimación de las fracciones nitrogenadas propuestas por el CNCPS (Cornell) mediante tecnología NIRS. En: García Criado, B. et al. (Eds.) *Pastos y ganadería intensiva*, pp. 347-351. Salamanca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

AOAC (1999) *Official Methods of Analysis*. Arlington. USA: AOAC International.

Beauchemin, K.A. (2006) Use of sugar beet silage in feedlot cattle diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 86, 127-131.

Calsamiglia, S., Ferret, A. Y Bach, A. (2004) *Tablas FEDNA de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos*. Madrid, España: Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

CARRO, M.D., LÓPEZ, S., VALDÉS, C., OVEJERO, F.J. (1999). Effect of DL-malate on mixed ruminal microorganism fermentation using the rumen simulation technique (RUSITEC). *Animal Feed Science and Technology*, 79, 279-288.

GOERING H.K. Y VAN SOEST P.J. (1970) *Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications)*. Washington DC, EEUU: USDA Handbook No. 379. USDA.

GUERRERO GARCÍA, a. (1999) *Cultivos herbáceos extensivos*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

SAS (2013) *SAS/STAT User's Guide*. Carolina del Norte, USA: Ed. Statistical Analysis System Institute Inc.

STEEL R.G.D. Y TORRIE J.H. (1981) *Principles and procedures of statistics*. New York, EEUU: McGraw Hill.

VALDÉS, C., ANDRÉS, S., TEJIDO, M.L., GARCÍA, R., CALLEJA, A., GIRÁLDEZ, F.J. Y LLORENTE, P. (2013). Pre-ensilado de remolacha con alfalfa pre-desechada: efecto del contenido en humedad de la alfalfa en la calidad del ensilado. En: Olea, L. et al. (Eds.) *Los Pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades*, pp. 139-146. Badajoz, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

VAN SOEST P.J., ROBERSTON J.B. Y LEWIS B.A. (1991) Methods for dietary fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.