

PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE ENERGÍA METABOLIZABLE *IN VIVO* DE ENSILAJES DE CORTE DIRECTO¹

Prediction of *in vivo* Metabolizable Energy Content of direct-cut silages

René Anrique G.², Víctor Moreira L.², Juan C. Dumont L.³, Daniel Alomar C.²

SUMMARY

Considering the need for having prediction equations of metabolizable energy content, adequate for the kind of silages produced in Chile, 48 direct-cut silages of each of the following categories were studied: native fertilized pasture, rye-grass-clover pasture, oat pasture and short rotation rye grass pastures. *In vivo* ME content of each silage was determined with cattle. Silages were also analyzed chemically and by *in vitro* digestibility. Results indicated the need for using toluene DM determination to avoid underestimation of energy intake and ME content. General and within forage equations based on one (DIV) or two variables (DIV, CP) adequately predicted ME content. The use of other chemical components including gross energy did not improve the predictions. Equations based only on chemical composition could not adequately predict ME content.

Key words: metabolizable energy prediction, direct cut silages.

INTRODUCCIÓN

La valoración energética de ensilajes comparada con forrajes no fermentados es más compleja e imprecisa, por la gran cantidad de productos volátiles que se generan en la fermentación, lo que dificulta una medición apropiada del contenido de materia seca (m.s.), además de efectos que la fermentación misma ejerce sobre la digestibilidad y contenido de energía bruta (EB). En el país, es común que el contenido de energía metabolizable y digestible (EM, DE), se estime a partir de la composición química o la digestibilidad *in vitro* (DIV), empleando ecuaciones de regresión determinadas en el extranjero, que no han sido validadas en nuestro medio.

En Chile los ensilajes se confeccionan predominantemente por corte directo, es decir, sin premarchitamiento y con tamaño de picado largo. En contraste, los tipos de ensilajes empleados para calcular las ecuaciones de predicción más conocidas, corresponden a forraje premarchito, con uso de aditivos y un menor tamaño de picado. Adicionalmente, existen

importantes diferencias en la composición química del forraje en ambas situaciones.

Un estudio efectuado en la zona sur (Anrique, 1987a), demuestra que de los ensilajes de pradera, sobre un 50% poseían menos de 10% de proteína bruta (PB) (prom. 8,5%). En el caso de ensilajes de avena o asociaciones de ésta con otras especies, sobre 90% de las muestras analizadas tuvieron un contenido de PB inferior a 10%. Comparativamente, en evaluación de 124 ensilajes de productores en Escocia (Givens *et al.*, 1989), el contenido de proteína promedio fue de 15,9% (10-22%) y la digestibilidad de la materia orgánica (MO) fue inferior a 65% sólo en un 11,5% de los casos, nivel bajo el cual están la mayoría de los ensilajes a nivel de productores ganaderos en el sur de Chile. Similares resultados reporta RRI (1984). Estas diferencias se pueden atribuir a una más acentuada madurez del forraje al momento de corte y a un menor nivel de fertilización nitrogenada de las praderas en nuestro país.

Desde el punto de vista analítico, se reconoce que los métodos biológicos, son más apropiados como base para desarrollar predicciones del valor energético de forrajes, con claras ventajas respecto de predicciones basadas en análisis químicos, como son las que utilizan el contenido de fibra en cualquiera de sus expresiones (RRI, 1984; Givens *et al.*, 1990). Con ensilajes y forrajes no fermentados (henos, forrajes verdes), la mejor predicción de la EM *in vivo* se ha logrado a partir de digestibilidad *in vitro* (DIV),

¹Recepción de originales: 25 de junio de 1996.
Investigación financiada por el Proyecto Fondecyt 1930380 "Desarrollo y evaluación de metodologías para determinar valor energético de ensilajes".

²Instituto de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

³Centro Regional de Investigación Remehue (INIA), Casilla 24-O, Osorno, Chile.

determinada a partir de licor ruminal o por empleo de celulasas (Jones y Hayward, 1975; Dowmann y Collins, 1982). La DIV por licor ruminal tiende a dar valores más altos y la DIV por celulasas, valores más bajos que los de la digestibilidad *in vivo*, por lo que es inapropiado basar las estimaciones de EM en valores de DIV que no hayan sido debidamente correlacionados con la EM *in vivo*.

También se ha determinado que las ecuaciones basadas en celulasas son más independientes de efectos de año o localidad de donde proviene el forraje, comparadas con las determinadas a partir de licor ruminal que son más afectadas por la alimentación y manejo de los animales donantes (Givens *et al.*, 1990; Ayres, 1991).

El objetivo de esta publicación fue presentar algunas ecuaciones de predicción, recomendables para estimar el contenido de EM de ensilajes y que fueron desarrolladas en un estudio conjunto entre la Universidad Austral de Chile e INIA (Centro Regional de Investigación Remehue).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensilajes se confeccionaron en las temporadas 1993 y 1994, en el predio Experimental Vista Alegre de la UACH, Valdivia y en el Centro Regional de Investigación Remehue. Se emplearon cuatro tipos de forraje ensilados con maquinaria convencional (chopper con repicador) en tres estados fenológicos, como se describe en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Descripción de los ensilajes evaluados

TABLE 1. Description of silages evaluated

Tipo de forraje	Estado fenológico	Nº de ensilajes
Pradera natural fertilizada	Foliar	4
	Panoja emergida	4
	Grano formado	4
Pradera ballica-trébol blanco	Foliar	4
	Panoja emergida	4
	Grano formado	4
Ballica Rotación	Foliar	4
	Panoja emergida	4
	Grano formado	4
Avena	Foliar	4
	Panoja emergida	4
	Grano formado	4

Los silos se confeccionaron con aproximadamente cuatro ton de forraje, y fueron sellados con polietileno, sin uso de aditivos, previa compactación. Las evaluaciones *in vivo* se efectuaron con bovinos, empleando cuatro terneros, de aproximadamente 200 kg de peso por ensilaje en pruebas de metabolismo en serie. Previo al inicio de cada serie, los animales se adaptaron al ensilaje, para lo cual, éste se suministró *ad-libitum* en forma grupal por aproximadamente 15 días. Posteriormente, el suministro se hacía en forma individual en jaulas metabólicas por cinco días adicionales en cantidad equivalente a 70% del consumo *ad-libitum* (ligeramente sobre mantención), con ensilaje como dieta única más un suplemento mineral-vitaminico.

Se realizó colección total de fecas y orina por períodos de seis días consecutivos por ensilaje. Seguidamente se cambiaba de ensilaje dejando cuatro días antes de iniciar una nueva colección. La producción de metano se estimó por regresión a partir de la digestibilidad de la energía (DE) de cada ensilaje (Blaxter y Clapperton, 1965). Cada día se muestreó 5% de la producción fecal y 1% de la producción de orina, previa homogenización, para obtener una muestra compuesta al término de cada período. Para evitar fermentaciones, al contenedor de orina se le agregó diariamente 6 ml de formalina. Se colectó diariamente 1,5 kg de cada ensilaje para conformar una muestra compuesta al final de cada período. El contenido de m.s. de los ensilajes se determinó en estufa y por destilación con tolueno (Dewar y MacDonald, 1964), corrigiéndose el destilado por ácidos volátiles y alcohol.

Los datos de digestibilidad y valor EM *in vivo* se expresan en base a m.s. tolueno y la producción fecal se corrigió por pérdidas de m.s. y energía en el secado, utilizando factores obtenidos en la Universidad Austral. La composición química y la digestibilidad *in vitro* de los ensilajes se expresan en base a m.s. estufa.

Se calcularon regresiones entre la composición de los ensilajes determinada en laboratorio y los valores de EM *in vivo* utilizando modelos simples y múltiples. Como criterio de selección de ecuaciones se empleó la raíz cuadrada del cuadrado medio de los residuos (rCMR), que corresponde a la desviación estándar de los residuos (Cody y Smith, 1991) que ha sido usada en otros estudios similares (Barber *et al.*, 1990; Minson, 1990; Givens *et al.*, 1993b). El valor predictivo de las regresiones se evalúa por la proporción de la varianza en la EM predicha, que es explicada por el coeficiente de determinación en el modelo (R^2).

RESULTADOS DISCUSIÓN

Composición de los ensilajes

La composición química varió en un amplio rango, lo que es coherente con la amplitud de estados fenológicos en que se cosechó el forraje. Los contenidos promedio de m.s., fibra cruda (FC) y fibra detergente ácido (FDA) y los correspondientes rangos de variación fueron bastante similares entre las categorías de ensilajes (Cuadro 2).

El nivel de PB promedio fue más bajo y fluctuó en un rango más estrecho en los ensilajes de ballica de rotación, lo que puede atribuirse a un crecimiento proporcionalmente más rápido, que debió influir en una mayor elongación de tallos al momento del primer corte, comparativamente con los otros forrajes.

El contenido de EB fue homogéneo entre ensilajes y el promedio general ($4,746 \pm 0,12$ Mcal/kg), fue un 6% superior al valor de EB determinado en estufa ($4,48 \pm 0,085$; Cuadro 2) y que es atribuible a pérdidas por volatilización durante el secado. Los niveles de pH son característicos de ensilajes directos que han fermentado en buenas condiciones de anaerobiosis y que demuestran la buena calidad fermentativa de los ensilajes. Ello se explica en parte porque todos los silos fueron llenados y sellados en el día.

Digestibilidad y valor energético

El contenido de MO digestible en la m.s. (Dr), la digestibilidad de la m.s. y el contenido de EM *in vivo*

tendieron a ser mayores en los ensilajes de avena y menores en ensilajes de ballica de rotación, lo que es concordante con lo observado en la composición química, que sugiere una ligera mayor madurez de éstas al corte (Cuadro 3). En este sentido es interesante resaltar la buena concordancia entre las respuestas obtenidas *in vitro* y las obtenidas *in vivo*.

El amplio rango en que fluctuó el contenido de EM entre ensilajes resultó satisfactorio para el objetivo de definir ecuaciones que cubran la amplitud de valores que se presentan en condiciones prácticas. En promedio, la relación EM/ED fue de $0,81 \pm 0,2$, proporción que se considera apropiada e indica que hubo pérdidas normales de energía por orina y por metano (Anrique *et al.*, 1990; Barber *et al.*, 1990).

Predicción de la EM

Las ecuaciones de regresión generadas a partir de dos variables independientes (Cuadro 4), fueron altamente significativas ($P < 0,001$) y se seleccionaron de un conjunto más amplio de ecuaciones por su proyección práctica, debido a que la determinación de proteína se aplica comúnmente a la mayoría de los ensilajes. Además de PB, las siguientes variables de composición resultaron significativas ($P < 0,05$) en ecuaciones múltiples: FC, FDA, EB, extracto etéreo (EE), Cenizas. Sin embargo, su empleo en combinación con Dr, no permitió obtener ecuaciones de mayor valor predictivo que las presentadas y su estudio será materia de un análisis más detallado en otra publicación.

CUADRO 2. Promedios y rangos de composición química de los ensilajes

TABLE 2. Average values and ranges for chemical composition of silages

Ensilaje		Pradera*	Avena	Ballica
Materia seca	Promedio	19,46	20,24	21,47
	Rango	13,0-29,7	14,4-30,3	15,0-29,7
Proteína Bruta	Promedio	13,05	12,00	10,04
	Rango	8,1-20,9	6,7-17,7	6,9-12,9
Fibra Detergente Ácido	Promedio	38,67	39,95	40,10
	Rango	31,0-44,4	34,5-43,0	37,0-41,6
Fibra Cruda	Promedio	32,07	33,81	33,09
	Rango	24,8-36,4	27,3-38,4	31,2-35,9
Energía Bruta	Promedio	4,75	4,75	4,73
	Rango	4,64-5,07	4,54-4,98	4,56-4,81
pH	Promedio	4,1	4,0	3,9
	Rango	3,6-5,5	3,9-4,9	3,6-4,2
	n	24	12	12

*Incluye los dos tipos de pradera estudiados.

CUADRO 3. Promedios y rangos de digestibilidad y contenido de energía metabolizable *in vivo* de los ensilajes

TABLE 3. Average values and ranges for digestibility and *in vivo* metabolizable energy content of silages

Ensilaje		Pradera* n = 24	Avena n = 12	Ballica n = 12
Dr (%)	Promedio	63,46	65,89	62,04
	Rango	49,6-78,8	50,2-74,5	53,9-68,6
DMS (%)	Promedio	64,33	66,22	61,57
	Rango	53,3-75,5	55,3-73,5	53,8-67,7
EM Mcal/kg m.s.	Promedio	2,47	2,57	2,37
	Rango	1,97-3,06	2,06-3,01	2,08-2,59

Dr = MOD/MS, determinado *in vitro* con licor ruminal.

*Incluye los dos tipos de pradera estudiados.

CUADRO 4. Predicción de la EM (Mcal/kg) *in vivo* de los ensilajes a partir de los contenidos de PB y la DIV

TABLE 4. Prediction of ME (Mcal/kg) *in vivo* of silages based on Crude Protein and DIV

Variables independientes (g/kg)					% Varianza explicada ¹	Suma de cuadrados residual
X1	X2	b0	b1	b2		
Todos los ensilajes						
Dr ²		0,061	0,0038		0,77	0,16
Dr	PB ³	0,257	0,0031	0,00216	0,78	0,15
Ballicas-Avena						
Dr		0,045	0,0038		0,83	0,14
Dr	PB	0,228	0,0032	0,00170	0,84	0,14
Pradera						
Dr		0,073	0,0038		0,70	0,18
Dr	PB	0,833	0,0033	-0,00118	0,71	0,18

¹Coefficiente de determinación (R²).

²Dr = g/kg m.s., determinada *in vitro*.

³PB = proteína bruta.

Es destacable la similitud que existe entre las ecuaciones por tipo de forraje y las ecuaciones generales (independientes del tipo de forraje), sean éstas de una o dos variables. La tasa de cambio en la EM por unidad de cambio en Dr (b1) fue similar entre las regresiones simples (0,0038 Mcal) y las múltiples (0,0032 Mcal), siendo también bastante parecidos los interceptos (b0), por lo que se puede establecer que configuran una sola población, como se aprecia en la Figura 2.

Por consiguiente, las mayores diferencias entre ecuaciones por tipo de ensilaje se encuentran en la variabilidad observada, que se refleja en los valores de R². El empleo de una segunda variable (PB), permitió sólo un ligero aumento en los valores de R², siendo necesario estudiar con más profundidad el efecto de agregar más de una variable de composición en conjunto con Dr. En este sentido es importante considerar que las ecuaciones múltiples permitirían atenuar mejor el efecto de posibles errores analíticos por lo que debieran preferirse a las ecuaciones de regresión simples.

Nuestros resultados fueron claros en demostrar que las predicciones simples o múltiples basadas sólo en composición química, no fueron satisfactorias, siendo imprescindible el empleo de Dr. Usando FC o FDA como variables únicas, o en combinación con otros componentes químicos, no se pudo explicar más del 30% de la varianza en la EM predicha, indicando la baja confiabilidad de las ecuaciones, y concordando con lo obtenido por Givens *et al.* (1989), con ensilajes de pradera. En dicho estudio, el porcentaje de la varianza explicada por regresiones simples a partir de licor ruminal (54%) o celulasas (63%), o por regresiones múltiples que incluyen además de licor ruminal, EB (70%) o EE (62%), fue en general más bajo que lo encontrado en este estudio (Cuadro 4). El empleo de FDA modificada, no permitió una predicción satisfactoria de la EM, coincidiendo con nuestros resultados y obteniendo similares valores de R^2 .

En la ecuación general basada en dos variables (Figura 1), la dispersión de los valores de EM, es normal en esta clase de estudios, y refleja la alta correlación existente entre los valores medidos y estimados ($r = 0,88$). En el caso de ensilajes, la variabilidad asociada a las mediciones de EM *in vivo* es mayor debido a impresiones en la determinación de la m.s., las que no ocurren con forrajes no fermentados. La determinación del contenido de m.s. por estufa subestima el contenido de m.s. real de los ensilajes, principalmente si son de tipo directo (Anrique, 1987b) y la cuantificación de los componentes volátiles vía destilación por tolueno es más lenta e imprecisa. El empleo de técnicas que puedan mejorar el análisis de los ensilajes, como es el caso de la metodología NIRS, resultan del mayor interés (Anrique 1994).

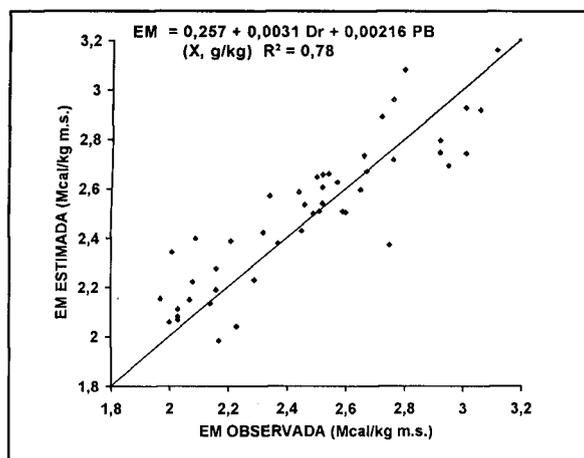


FIGURA 1. Relación entre el contenido de energía metabolizable determinado *in vivo* y estimado por regresión para todos los ensilajes.

FIGURE 1. Relationship between metabolizable energy content determined *in vivo* and estimated by regression for all silages.

La Figura 2, nos sugiere también, diferencias en contenido de EM entre ensilajes y forrajes no fermentados si se comparan con la ecuación de Garrido y Mann (1981), que es empleada actualmente en algunos laboratorios del país. Esta diferencia que equivale a 6% en promedio, es concordante con diferencias de EB entre el ensilaje y el forraje del cual proviene, del orden de 7% según Edwards (1989) y que en el presente estudio fueron de 5%. El mayor contenido de EB de los ensilajes es explicable por una pérdida de energía proporcionalmente menor que la pérdida de m.s. (Mc Donald *et al.*, 1988), debido a un mayor valor calórico de los productos de la fermentación. También se aprecia que las diferencias entre ensilajes y forrajes verdes tienden a ser menores cuando la digestibilidad baja, lo que podría atribuirse a que en el forraje más maduro, los cambios que ejerce la fermentación serían menores. Sin embargo, estudios realizados al respecto no han demostrado diferencias claras (RRI, 1984).

Es importante tener presente que no se determinó la EM *in vivo* en el forraje original en este estudio, por lo cual no se puede deducir que exista una diferencia definitiva en el contenido de EM entre ensilajes y otros forrajes comparados a igual digestibilidad.

Los resultados de este trabajo sugieren la conveniencia de emplear ecuaciones diseñadas para evaluar ensilajes, en lugar de ecuaciones generadas a partir de henos o forrajes verdes, con el objeto de evitar una posible subestimación del contenido de EM. En este contexto, las ecuaciones presentadas en el Cuadro 4, serían apropiadas para su aplicación a ensilajes directos, sean éstos de pradera, avena o ballicas de rotación.

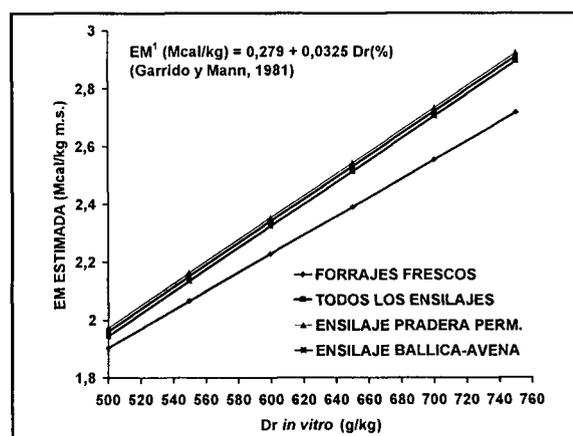


FIGURA 2. Relaciones entre digestibilidad *in vitro* (licor ruminal), expresada como el contenido de MOD en la m.s. (Dr), y la energía metabolizable *in vivo* de los ensilajes, en contraste con igual relación definida para forrajes frescos (Garrido y Mann, 1981).

FIGURE 2. Relationships between *in vitro* digestibility (rumen licour), expressed as DOM content in d.m. (Dr), and *in vivo* metabolizable energy of silages, compared with the same relationship determined for fresh forages (Garrido and Mann, 1981).

RESUMEN

Debido a la necesidad de contar con predictores del contenido energético, que sean adecuados para la clase de ensilajes producidos en Chile, se estudiaron 48 ensilajes de corte directo dentro de las siguientes categorías de forraje original: pradera natural, pradera de ballica-trébol blanco, avena verde, y ballicas de rotación. Se determinó el contenido de energía metabolizable (EM) *in vivo* de cada ensilaje, empleando bovinos. Los ensilajes se analizaron químicamente y se determinó la digestibilidad *in vitro*. Los resultados demostraron la necesidad de determinar el contenido de m.s. con tolueno, para evitar la subestimación del consumo de energía y del contenido

de energía metabolizable. Se presentan ecuaciones de predicción generales y por tipo de forraje basadas en una variable (digestibilidad *in vitro*-DIV) o dos variables (DIV, proteína bruta) que permiten estimar satisfactoriamente el contenido de energía metabolizable. El empleo de otros componentes químicos, incluida la energía bruta, no mejoró el valor predictivo. Ecuaciones basadas sólo en componentes químicos no fueron satisfactorias en predecir el contenido de energía metabolizable.

Palabras claves: predicción energía metabolizable, ensilajes corte directo.

LITERATURA CITADA

- ANRIQUE, R.G. 1987a. Valor nutritivo de henos y ensilajes en la zona sur. En: Conservación de forrajes. L. Latrille y O. Balocchi (eds.). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Serie B-12. 440 p.
- ANRIQUE, R.G. 1987b. Predicción del valor energético de ensilajes y henos. En: Conservación de forrajes. L. Latrille y O. Balocchi (eds.). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Serie B-12. 440 p.
- ANRIQUE, R.G.; M.L. THONNEY and H.J. AYALA. 1990. Dietary energy losses of cattle influenced by body type, size, sex and intake. *Animal Production* 50: 467-474.
- ANRIQUE, R.G. 1994. Avances en la valoración nutritiva de alimentos para rumiantes. En: L. Latrille (ed). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Serie B-18. 231 p.
- AYRES, J. 1991. Sources of error with *in vitro* digestibility assay of pasture feeds. *Grass and Forage Science*. 46: 89-97.
- BARBER, G.D., D.I. GIVENS, M.S. KRIDIS, N.W. MURRAY. 1990. Prediction of the organic matter digestibility of grass silage. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 28: 115-128.
- BLAXTER, K.L. and J. CLAPPERTON. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition*. 19: 511-522.
- CODY, R. and J. SMITH. 1991. Applied statistics and the SAS programming language. Third edition. United States of America, Elsevier Science Publishing Co., Inc. 403 p.
- DEWAR, W. and P. McDONALD. 1964. Determination of dry matter in silage by distillation with toluene. *J. Sci. Food Agric.* 12: 790-795.
- DOWMANN, M.G. and F.C. COLLINS. 1982. The use of enzymes to predict the digestibility of animal feeds. *J. Sci. Food Agric.*, 33: 689-696.
- EDWARDS, R.A. 1989. The energy value of grass silage. In: Ruminant Feed Evaluation and Utilization. B. Stark, J.M. Wilkinson and D.I. Givens. Chalcombe Publications.
- GARRIDO, O. y E. MANN. 1981. Composición química, digestibilidad y valor energético de una pradera permanente de pastoreo a través del año. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 59 p.
- GIVENS, J., A. MOSS and A. ADAMSON. 1990. The nutritive value of spring-grown herbage produced on farms throughout England and Wales over 4 years. II. The prediction of apparent digestibility *in vivo* from various laboratory measurements. *Animal Feed Science and Technology* 27: 173-184.
- GIVENS, J., A. MOSS and A. ADAMSON. 1989. The digestibility and metabolizable energy content of grass silage and its prediction from laboratory measurements. *Animal Feed Science and Technology*. 24: 27-43.
- GIVENS, J., A. MOSS and A. ADAMSON. 1993b. Influence of growth stage and season on the energy value of fresh herbage. 2. Relationships between digestibility and metabolizable energy content and various laboratory measurements. *Grass and Forage Science*. 48: 175-180.
- JONES, D.I.H. and M.V. HAYWARD. 1975. The effect of epsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *J. Sci. Food Agric.*, 26: 711-718.
- McDONALD, P.; R. EDWARDS and J. GREENHALGH. 1988. The biochemistry of silage. 2nd edition. Great Britain, Chalcombe Publications, Marlow. 340 p.
- MINSON, D. 1990. Forage in ruminant nutrition. United States of America, Academic Press, Inc. 483 p.
- RRI (ROWETT RESEARCH INSTITUTE). 1984. Feeding stuffs evaluation unit. Fourth report. Department of Agriculture and Fisheries of Scotland.