

**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA NIRS PARA ESTIMAR  
LOS PARÁMETROS DE CINÉTICA DE FERMENTACIÓN RUMINAL  
DE FORRAJES PROCEDENTES DE ZONAS ÁRIDAS DE TÚNEZ**

Opsi, F.<sup>1</sup>, Ammar, H.<sup>2</sup>, Andrés, S.<sup>1</sup>, Kammoun, M.<sup>2</sup>, González, J.S.<sup>1</sup>, López, S.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ganadería de Montaña (CSIC-Universidad de León). 24346 León

<sup>2</sup> Institution de Recherche et d'Enseignement Supérieur Agricole (IRESA), Túnez  
s.lopez@unileon.es

**INTRODUCCIÓN**

El valor nutritivo de los forrajes destinados a la alimentación de los rumiantes depende, en gran medida, de la composición química y de su utilización digestiva, en particular, de su fermentación en el rumen. Por tanto, es importante conocer la cinética de fermentación de los forrajes de manera rápida y sencilla para lograr un aprovechamiento adecuado de los mismos. La técnica de producción de gas (Theodorou et al., 1994) exige llevar a cabo incubaciones in vitro y mediciones del volumen de gas producido, que son laboriosas y se prolongan durante un tiempo relativamente largo. Es por ello que la técnica de producción de gas podría complementarse con la tecnología NIRS, ya que esta última permite obtener espectros de los forrajes en unos pocos segundos que podrían utilizarse posteriormente para estimar los parámetros de la cinética de producción de gas in vitro.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, el presente trabajo se planteó con el objetivo de conocer en qué medida la tecnología NIRS es capaz de estimar, a partir de los espectros de 79 forrajes diferentes procedentes de una zona árida de Túnez, los parámetros calculados tras el ajuste de las respectivas curvas de producción de gas.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

Se dispuso de un total de 79 forrajes diferentes (avena, cebada, ballico, trigo, veza, zulla, trébol, guisante, haba, alholva, mezclas de veza y avena, de veza y cebada, de zulla y avena, de avena y trébol) obtenidos en épocas y cortes diferentes en zonas áridas de Túnez. Estas muestras se secaron en estufa de aire forzado a 60°C y posteriormente se molieron con un molino de martillos tipo Culatti provisto de una malla de 1 mm de diámetro. Para obtener las cinéticas de fermentación y las curvas de producción de gas de las muestras de forrajes, se utilizó la técnica descrita por Theodorou et al. (1994). Con el fin de obtener los datos promediados, se utilizaron para cada muestra tres viales de 120 ml, en cada uno de los cuales se colocaron 500 mg de MS. Para incubar las muestras se dosificó dentro de cada vial, previamente gaseado con CO<sub>2</sub>, 50 ml de líquido ruminal diluido en un medio de cultivo en proporción 1:4 (v/v), preparado según las indicaciones de Goering y Van Soest (1970). Tras precintar los viales, se colocaron en un incubador a 39°C y se midió la producción de gas (con un transductor de presión) a las 3, 6, 9, 12, 16, 21, 26, 31, 36, 48, 60, 72, 96, 120 y 144 horas. Cuando terminó el periodo de incubación (144 h) se abrieron los viales, se filtró su contenido en crisoles de placa filtrante y los residuos se secaron en una estufa de aire forzado a 60°C para determinar la desaparición de MS (Des 144 h). Las curvas de producción de gas se ajustaron utilizando el procedimiento NLIN (SAS, 1999) al modelo exponencial descrito por France et al. (2000),  $PG = A [1 - e^{-c(t-L)}]$ , donde PG es la producción acumulada de gas (ml/g MS) a un tiempo t (h) de incubación, A (ml) es la producción asintótica de gas, c (h<sup>-1</sup>) es el ritmo fraccional de fermentación y L (h) el tiempo de retraso en el inicio de la degradación del sustrato. Además, la degradabilidad efectiva de la MS en el rumen (DG) para un determinado ritmo de paso (k) de la digesta se estimó a partir de la expresión matemática descrita por France et al. (2000). Las dos tasas de ritmo de paso asumidas en este trabajo fueron 0,03h, representativa de un nivel de ingestión bajo, y 0,06/h, representativa de un nivel de ingestión elevado.

Por otra parte, se recogieron los espectros de las 79 muestras de forraje mediante un espectrofotómetro de infrarrojos NIRSsystem 6500 conectado a un PC. Para ello, se introdujeron las muestras en cápsulas rectangulares con ventana de cuarzo que se

irradiaron con energía entre 400 y los 2500 nm, con el fin de obtener una medida de absorbancia cada 2 nm. Para cada muestra se recogieron 2 espectros en dos cápsulas distintas que finalmente fueron promediados y tratados con MSC y una segunda derivada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los rangos, valores medios y desviaciones estándar de los parámetros de producción de gas correspondientes a los 79 forrajes empleados en el presente estudio.

**Tabla 1.** *Parámetros de producción de gas*

	Conjunto de muestras de calibración (n=79)		
	Rango	Media	DE
A gas (ml)	189 – 453	299	57,1
c gas (h <sup>-1</sup> )	0,0184 – 0,0517	0,0332	0,0086
PG 24 h (ml)	97 – 223	154	27,5
Des 144 h (mg)	33 – 76	56	9,7
DG03	19 – 43	28	5,5
DG06	12 – 30	19	4,1

Por otra parte, en la Tabla 2 aparecen los estadísticos de bondad de ajuste de las ecuaciones de predicción NIR obtenidas mediante regresión por mínimos cuadrados parciales, con las que se observaron los errores estándar de validación cruzada (EE<sub>VC</sub>) más bajos. Para todos los parámetros se observa una elevada correlación (R) entre los valores de referencia obtenidos a partir de las incubaciones in vitro y aquéllos estimados por la ecuación correspondiente. No obstante, excepto en el modelo con el que se estima la producción de gas asintótica (A gas), el número de términos (p) que es necesario introducir en cada ecuación es relativamente elevado, lo que hace pensar en un posible sobreajuste de las ecuaciones. El hecho de que el error estándar de validación cruzada (EE<sub>VC</sub>) difiera en todas las ecuaciones en más de un 20% del correspondiente error estándar de calibración (EEC), y que la relación RPD sea inferior a 2,5 parece confirmar esta hipótesis.

**Tabla 2.** *Calibraciones obtenidas mediante el programa The Unscrambler versión 9.2 para estimar distintos parámetros de producción de gas a partir de tecnología NIRS*

	p	R	EEC	EE <sub>VC</sub>	RPD
A gas	6	0,93	21,1	29,3	1,95
c gas	10	0,97	0,002	0,004	2,15
PG 24 h	7	0,89	12,5	17,6	1,56
Des 144 h	9	0,95	2,9	5,4	1,80
DG03	9	0,95	1,7	3,1	1,77
DG06	10	0,96	1,2	2,3	1,78

p: número de términos en la ecuación; R: coeficiente de correlación; EEC: error estándar de calibración; EE<sub>VC</sub>: error estándar de validación cruzada; RPD: relación entre la desviación estándar del método de referencia y el error estándar de validación cruzada

En este sentido, es necesario recordar que el conjunto de muestras de forraje de calibración (n=79) estaba formado por monocultivos de gramíneas o de leguminosas, o por cultivos de mezclas de ambas, obtenidos en distintas fechas de siega y, por tanto, con diferentes grados de madurez. Este aspecto pudo introducir una enorme complejidad en esta muestra de forrajes, lo que podría justificar la dificultad de obtener ecuaciones NIR con una capacidad de predicción aceptable para estimar los parámetros de cinética de fermentación ruminal, a pesar de que los espectros NIR recogen información relativa a la composición química de los alimentos y, por tanto, a la medida en que los forrajes pueden ser digeridos en el rumen.

Una mayor homogeneidad de las muestras permitiría obtener ecuaciones de predicción específicas para cada tipo de forraje, con lo que sería posible conseguir una mayor exactitud de predicción de los parámetros relacionados con la cinética de fermentación ruminal de estos forrajes.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- France, J., Dijkstra, J., Dhanoa, M.S., López, S., Bannink, A. 2000. *Br. J. Nutr.* 83, 143-150.
- Goering, H.K., Van Soest, P.J. 1970. *Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures and some applications)*. USDA, Washington D.C., USA.
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., France, J. 1994. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48, 185-197.
- SAS, 1999. *SAS/STAT User's Guide*. SAS Institute Inc., Cary, USA.

**Agradecimientos:** Proyecto financiado por la AECID (A/2692/05 y A/011878/07)

### APPLICATION OF NIRS TECHNOLOGY TO ESTIMATING RUMINAL FERMENTATION KINETICS PARAMETERS OF FORAGES FROM ARID AREAS IN TUNISIA

**ABSTRACT:** The objective of this work was to assess the accuracy of prediction of fermentation kinetics parameters of forages from NIR spectra. Forages (79 samples including grasses, legumes or combinations grass-legume) were harvested from arid areas in Tunisia. Ruminal fermentation kinetics were determined in vitro by the gas production technique and NIR spectra were recorded. Prediction equations of rate and extent of forage degradation from NIR spectra were developed. Although a large percentage of variance could be accounted for by the models ( $R > 0.89$ ), prediction equations could not be considered fully satisfactory, most likely due to the large heterogeneity of the forages included for calibration in the study.

**Key words:** NIRS, forage, nutritive value, rumen, fermentation kinetics, gas production