

## **Efecto de la adición de polietilenglicol sobre la degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica y contenido de energía metabolizable en granos de once cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor*)**

Víctor Reina<sup>1</sup>, Álvaro Ojeda<sup>1\*</sup>, Rafael González<sup>2</sup> y Omar Colmenares<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apartado Postal 4579, Maracay 2101, Aragua, Venezuela. \*Correo electrónico: [ojedaa@agr.ucv.ve](mailto:ojedaa@agr.ucv.ve)

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro de Investigaciones del estado Portuguesa. Acarigua, Portuguesa, Venezuela

<sup>3</sup> Universidad Rómulo Gallegos, Área Agronomía, San Juan de Los Morros, Guárico, Venezuela.

---

### **RESUMEN**

Con el objetivo de evaluar el efecto de la adición de polietilenglicol-8000 (PEG) sobre degradabilidad ruminal *in vitro* aparente de la materia orgánica y el contenido de energía metabolizable de 11 cultivares sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) identificados con los nombres comerciales de Criollo 1, Criollo 27, Chaguaramas III, Chaguaramas VII, Guanipa 95, Himeca 101, Himeca 400, Pioneer 81-G67, Pioneer 83-G88, Pioneer 86-P42 y Tecsem 120, se colectaron 1 kg/cultivar al momento de su cosecha en fincas del estado Portuguesa. Las muestras fueron deshidratadas a temperatura ambiente en local ventilado y oscuro, y molidas en criba de 1 mm para evaluar la producción de gases *in vitro*, degradabilidad aparente de la materia orgánica y el contenido de energía metabolizable, con o sin adición de PEG como agente inactivador de la fracción de taninos condensados extractables. La producción de gases se registró con un transductor de presión digital (0-15 psi) a las 3, 6, 9, 12, 16, 24, 30, 36, 48, 60, 72 y 96 h, utilizando como inóculo el licor ruminal de tres vacas fistuladas al rumen. La producción potencial de gas fue  $335,8 \pm 30,7$  mL/g MS, con una tasa fraccional de  $0,06 \pm 0,01$  mL/h y un periodo de latencia de  $4,5 \pm 1,1$  h. Durante las primeras 12 h de incubación, la adición de PEG incrementó la producción de gases en 12% y el periodo de latencia se redujo en 3,4%. La degradabilidad aparente de la materia orgánica y el contenido de energía metabolizable estimada fueron  $83,7 \pm 2,4\%$  y  $12,5 \pm 0,5$  MJ/kg MS; respectivamente. La adición de PEG al medio de cultivo evidenció que la mayor actividad biológica de la fracción de taninos condensados extractables se registró durante las primeras 12 h de incubación *in vitro*, siendo superior el impacto potencial de estos metabolitos secundarios sobre la producción acumulada de gases y periodo de latencia en los cultivares Chaguaramas VII, Criollo 1, Guanipa 95, Himeca 101 y Pioneer 83-G88.

*Palabras clave:* Rumiantes, sorgo, producción de gases, *in vitro*, degradabilidad, energía metabolizable.

---

### **Effect of polyethylene glycol on *in vitro* organic matter apparent degradability and metabolizable energy content of eleven sorghum cultivars grain (*Sorghum bicolor*)**

#### **ABSTRACT**

In order to evaluate the effect of polyethylene glycol 8000 (PEG) addition on the *in vitro* organic matter apparent degradability and metabolizable energy of 11 sorghum commercial cultivars (*Sorghum bicolor* (L) Moench), named Criollo 1, Criollo 27, Chaguaramas III, Chaguaramas VII, Guanipa 95, Himeca 101, Himeca 400, Pioneer 81-G67, Pioneer 83-G88, Pioneer 86-P42, and Tecsem 120), it was collected 1 kg grain/cultivars harvested from farms located in Portuguesa state, Venezuela. The samples were drying at room temperature and mills with 1 mm screen to evaluated the *in vitro* gas production with or without added PEG as inactivating agent of extractable

condensed tannins fraction. The gas production was measured with a digital pressure transducer (0-15 psi) at 3, 6, 9, 12, 16, 24, 30, 36, 48, 60, 72, and 96 h, and using animal rumen fluid inoculum collected from three ruminally fistulated cows. The potential gas production was  $335.8 \pm 30.7$  mL/g MS, with a fractional rate of  $0.06 \pm 0.01$  mL/h and a lag time of  $4.5 \pm 1.1$  h. During the first 12 h of incubation, the addition of PEG increases the gas production in 12% and the lag time was reduced in 3.4%. The apparent organic matter degradability and metabolizable energy content were  $83.7 \pm 2.4\%$  and  $12.5 \pm 0.5$  MJ/kg MS, respectively. The PEG addition showed that the highest biological activity of condensed tannins fraction was during first 12 h of *in vitro* incubation, with the major impact from this secondary metabolites on the accumulated *in vitro* gas production and incubation lag time in Chaguaramas VII, Criollo 1, Guanipa 95, Himeca 101, and Pioneer 83-G88 cultivars.

**Keywords:** Ruminants, sorghum, gas production, *in vitro*, degradability, metabolizable energy.

## INTRODUCCIÓN

En Venezuela se producen unas 563.350 t granos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) equivalentes al 21,4% de la producción de cereales a nivel nacional (FAO, 2006). Si bien posee un perfil nutricional equivalente al de otros cereales de uso tradicional en la alimentación animal, registra como limitantes básicas un bajo contenido de pigmentos carotenoides y la presencia de metabolitos secundarios, donde destacan los taninos condensados (Ciccola, 1989; Jaramillo *et al.*, 1993). Estos polímeros de catequina o proantocianidinas se han asociado a una reducción en la respuesta animal como consecuencia de su efecto detrimental sobre el consumo, degradabilidad de la proteína, materia seca y fracciones minerales, actividad enzimática; entre otros (Waghorn *et al.*, 1987; Horrigome *et al.*, 1988; Scalbert, 1991; Jansman, 1993; Reed, 2001).

Debido a su capacidad para la formación de complejos estables que inactivan los taninos condensados, un polímero sintético no nutritivo denominado polietilenglicol (PEG) se ha empleado con frecuencia en estudios dirigidos a evaluar el efecto antinutricional de dichos metabolitos secundarios (Makkar *et al.*, 1995; Priolo *et al.*, 2000).

La técnica de producción de gas *in vitro*, a través de un sistema semi automatizado que utiliza un transductor de presión, ha sido empleada para caracterizar la degradabilidad ruminal de alimentos, el valor energético de la materia orgánica, la predicción de la tasa de crecimiento de rumiantes alimentados con recursos fibrosos y más recientemente, en la valoración del impacto nutricional de metabolitos secundarios presentes en los alimentos (Theodorou *et al.*, 1994; Chenost *et al.*, 2001; Hervás *et al.*, 2003; Canbolat *et al.*, 2005).

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la adición de PEG sobre la degradabilidad ruminal aparente *in vitro* de la materia orgánica y el contenido de energía metabolizable en los granos de 11 cultivares comerciales de sorgo pardo con variable contenido de taninos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestras de sorgo y análisis químico

Se colectaron muestras de granos de 11 cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) en cinco unidades de producción localizadas en el área de influencia del municipio Turén (09° 20' 03'' N y 69° 07' 21'' O) del estado Portuguesa, Venezuela. Este municipio se ubica a una altura de 275 msnm, con una media anual de 27°C, 1.395 mm de precipitación, 1.975 mm de evaporación y 4,3 meses secos (García y Soto, 1976).

Los cultivares evaluados (Criollo 1, Criollo 27, Chaguaramas III, Chaguaramas VII, Guanipa 95, Himeca 101, Himeca 400, Pioneer 81-G67, Pioneer 83-G88, Pioneer 86-P42 y Tecsem 120) fueron sembrados en el ciclo 2005, en condiciones de norteverano en suelos predominantemente franco-arenosos, con un área de siembra para cada cultivar de 10-40 ha., densidad de 166.000 a 222.000 plantas/ha, fertilización al momento de la siembra con 150-200 kg/ha de 20-10-20 (N-P-K) y reabono 25 días después con 100-150 kg urea/ha. Este manejo agronómico permitió un rendimiento de  $2.885 \pm 787,9$  kg/ha, en cultivares con un ciclo de 90-110 días.

Al momento de la cosecha se tomaron muestras representativas del grano, las cuales fueron deshidratadas a temperatura ambiente, en un local ventilado y oscuro, hasta la obtención de peso constante, siendo posteriormente molidas en criba de 1 mm de diámetro. La composición química de los

materiales considerados se muestra en el Cuadro 1, donde se evidencia un contenido de taninos condensados extractables de  $1,1 \pm 0,63$  g Eleu/kg MS.

A todos los cultivares en estudio se les determinó la materia seca por deshidratación hasta peso constante a 105°C, cenizas por ignición de la muestra durante 8 horas en una mufla a 550°C y N total de acuerdo al método de Kjeldahl (AOAC, 1995). El contenido de fibra insoluble en detergente neutro (FDN) se definió

siguiendo la metodología descrita por Van Soest *et al.* (1991), con la adición de sulfito de sodio a la solución de detergente neutro para remover parcialmente los complejos taninos-proteína (Terril *et al.*, 1992). La concentración de taninos condensados extractables en solución de acetona (70%) se determinó empleando el método de nButanol/HCl/Fe<sup>3+</sup>, expresando los resultados como equivalentes de leucocianidinas (Porter *et al.*, 1986).

Cuadro 1. Composición química de los granos de sorgo empleados en la evaluación de la degradabilidad ruminal a través de la técnica de producción de gases *in vitro*.

Cultivar	Fracciones <sup>†</sup>				TC g Eleu/kg MS
	MS g/kg	MO ----- g/kg MS	N ----- g/kg MS	FDN ----- g/kg MS	
<u>Chaguaramas</u>					
III	81,4	98,2	1,46	15,2	1,46
VII	82,3	97,9	1,06	16,5	2,40
<u>Criollo</u>					
1	80,3	98,6	1,48	19,2	1,43
27	82,4	98,6	1,50	17,1	0,80
<u>Guanipa 95</u>	81,8	98,5	1,60	26,8	1,26
<u>Himeca</u>					
101	79,5	98,4	1,12	15,4	1,16
400	81,7	99,0	1,26	17,6	0,09
<u>Pioneer</u>					
81G67	78,9	98,7	1,44	25,0	0,61
83G88	80,6	98,4	1,41	15,6	0,91
86P42	79,5	98,7	1,36	22,8	0,66
<u>Tecsem 120</u>	79,8	98,7	1,54	20,5	ND <sup>‡</sup>

<sup>†</sup> MS: Materia seca a 105°C, MO: Materia orgánica, N: Nitrógeno, FDN: Fibra insoluble en detergente neutro, EE: Extracto etéreo, TC: Taninos condensados (g Equivalentes de leucocianidinas/kg MS)

<sup>‡</sup>ND: No detectado

### Producción de gas *in vitro*

Como fuente de inóculo se emplearon tres vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* (488 ± 8 kg) fistuladas al rumen, manejadas a pastoreo en potreros de gramíneas cultivadas de los géneros *Brachiaria*, *Cynodon*, *Digitaria* y *Panicum*. Las vacas fueron suplementadas con alimento concentrado, a razón de aproximadamente 2 kg/anim/d (2,7% N, 7,6% Cenizas, 37,2% FND y 15,6% FAD).

Previo al suministro del suplemento (aprox. 06:00 h), se colectó el inóculo a partir de una fase líquida y una sólida de contenido ruminal en una relación aproximada 50:50, siendo trasladado al laboratorio y mantenido a una temperatura aproximada de 39°C bajo flujo continuo de CO<sub>2</sub>, para posteriormente ser mezclado durante 10 s en una licuadora y filtrado a través de gasa estéril (poro 35 µm).

La producción de gas *in vitro* fue medida de acuerdo a la técnica descrita por Mauricio *et al.* (1999), en envases de vidrio (168 cm<sup>3</sup>) a los que se adicionó 1 g de sustrato, 90 mL de solución nutritiva y buffer, y 10 mL del inoculo. Se emplearon seis de estos recipientes por cada muestra a evaluar, tres con la adición de 1 g de PEG con peso molecular aproximado de 8000 (PEG, Merck®) de acuerdo a Makkar *et al.* (1995). Todos los envases fueron incubados a 39°C y registrada la presión de gas a las 3, 6, 9, 12, 16, 24, 36, 48, 60, 72 y 96 horas. Al finalizar cada lectura, efectuada por medio de la introducción de una jeringa fijada a un transductor de presión (Red Lion®, Modelo DP5-1/8 DIN) acoplado a un lector con diodo de emisión de luz, los envases de vidrio fueron agitados manualmente y liberado el gas remanente en su interior hasta alcanzar presión de 0 psi.

La variación en la producción de gas debida a la inclusión del PEG, obtenida por diferencia entre las botellas con o sin este polímero, fue considerada como la producción de gas cuando los taninos condensados se inactivan. A finalizar las lecturas, se colocaron las botellas en baño de maría inverso (4°C) y se filtró el contenido de las mismas en crisoles de vidrio con placas de porcelana porosa (poro #1), previamente pesados, para ser deshidratados a 105°C hasta peso constante y por diferencia de pesos obtener la degradabilidad aparente del sustrato, corrigiendo ésta por la inclusión de tres botellas sin sustrato (blanco).

#### Cálculos y análisis estadístico

El volumen de gases producidos (V, mL) se determinó por la transformación de las lecturas de presión (p, psi) a volumen, utilizando la fórmula desarrollada por Mauricio *et al.* (1999):

$$V = 0,18 + 3,67p + p^2$$

Los parámetros de la cinética de producción de gases se estimaron por medio de un modelo exponencial desarrollado por France *et al.* (1993), empleando el procedimiento NLIN de SAS (1985) para desarrollar la siguiente ecuación:

$$y = a [1 - \exp^{-b(t-T) - c(\sqrt{t}-\sqrt{T})}]$$

En donde y es la producción total de gas al tiempo de incubación t, a es la producción potencial de gas (mL), b describe la tasa fraccional de producción de gas (mL/h), c es la tasa constante de producción de

gas (h<sup>-1/2</sup>) y T representa el periodo de latencia antes que la producción de gas se inicie (fase de retraso ó *Lag time*).

La estimación de la energía metabolizable (EM) se efectuó considerando los valores obtenidos de degradabilidad de la materia orgánica (DegMO) a partir de la técnica descrita previamente, empleando la ecuación propuesta por Menke y Steingass (1988):

$$EM \text{ (MJ/kg MS)} = -1,15 + 0,1600 \text{ DegMO}$$

Empleando estadística descriptiva se calculó la desviación estándar de cada valor promedio, para posteriormente a través de inferencia estadística establecer correlaciones múltiples y regresiones para identificar el grado de asociación entre las variables en estudio (Steel y Torrie, 1985). Los resultados fueron analizados a través del paquete estadístico SAS (1992).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de gas *in vitro*

La tasa de producción de gas *in vitro* de los granos de 11 cultivares evaluados con o sin adición de PEG al medio de incubación se muestra en la Figura 1, mientras en el Cuadro 2 se presentan la producción acumulada de gases y los parámetros de la cinética de fermentación obtenidos por ajuste al modelo exponencial empleado (France *et al.*, 1993).

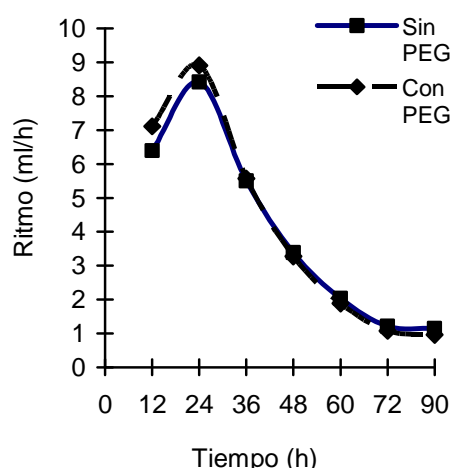


Figura 1. Tasa de producción de gas *in vitro* para los granos de 11 cultivares de sorgo con o sin adición de PEG-8000 al medio de incubación.

Cuadro 2. Producción acumulada de gas *in vitro* y parámetros de su cinética estimados para los granos de 11 cultivares de sorgo.

Cultivar	Producción de gas acumulada (%)				Parámetros <sup>†</sup>		
	12h	24h	48h	96h	a (mL)	b (mL/h)	T(h)
<u>Chaguaramas</u>							
III	90,9	210,0	291,9	334,0	337,9	0,07	3,6
VII	69,8	200,7	269,3	346,3	350,7	0,06	4,5
<u>Criollo</u>							
1	49,0	143,2	268,8	338,9	350,2	0,04	5,0
27	89,9	171,3	234,8	277,9	274,3	0,06	3,0
<u>Guanipa</u>	43,4	132,7	262,9	334,3	347,8	0,04	5,9
<u>Himeca</u>							
101	61,4	175,6	274,3	298,2	300,8	0,06	4,3
400	126,6	222,4	264,8	312,1	306,8	0,08	2,8
<u>Pioneer</u>							
81-G67	47,7	164,4	292,1	372,3	377,3	0,05	5,4
83-G88	40,6	180,0	303,5	358,8	364,9	0,06	6,1
86-P42	66,3	163,6	261,3	322,2	328,0	0,05	3,8
<u>Tecsem</u> 120	67,3	180,1	286,2	348,9	355,0	0,06	5,0

<sup>†</sup>Parámetros estimados de acuerdo a un modelo exponencial (France *et al.*, 1993): producción potencial de gas (a), tasa fraccional de producción de gas (b) y Lag time o fase de latencia (T).

La producción acumulada de gases a las 96 h fue de  $331,3 \pm 27,3$  mL/g MS, con un incremento de 3,1% derivado de la adición de PEG. Este parámetro se mantuvo en un rango de 277,9-372,3 mL/g MS, correspondiendo dichos valores a los cultivares Criollo 27 y Pioneer 81-G67; respectivamente. Estos indicadores muestran similitud con un estudio conducido por Cabral *et al.* (2005), quienes al evaluar 8 cultivares de sorgo en Brasil reportan una producción acumulada de gases a las 96 h de  $376,1 \pm 36,9$  mL/g MS. La variación en la producción acumulada de gases debida a la adición de PEG (Cuadro 3) se considera una medida indirecta de la actividad biológica de los taninos condensados, y más específicamente, de su capacidad para reducir la fermentación ruminal (Makkar *et al.*, 1995; Hervás *et al.*, 2003). Es de resaltar que la mayor variación relativa, y por tanto el mayor impacto potencial de los taninos presentes en los granos de sorgo evaluados, ocurrió durante las primeras 12 h de incubación, donde la adición del PEG generó un incremento de  $12,5 \pm 9,3\%$  en la producción acumulada de gases. Los cultivares Chaguaramas VII, Criollo 1, Guanipa 95, Himeca 101 y Pioneer 83-G88 presentaron un

incremento en la producción de gases a las 12 h de  $21,1 \pm 5,7\%$ , lo cual es indicativo de la actividad biológica de los taninos condensados presentes en dichos cultivares ( $1,4 \pm 0,57$  g Eleu/kg MS).

Entre los efectos detrimentales reportados para los taninos condensados están un deterioro del proceso de fermentación ruminal debido a limitaciones generales en la actividad microbiana y más específicamente en la capacidad de adhesión de los microorganismos a las partículas de alimento, así como una disminución en la disponibilidad de proteínas dietarias y la actividad de las endógenas, incluyéndose dentro de éstas últimas las enzimas digestivas (Kumar y Singh 1984; Menke y Steingass, 1988; Makkar *et al.*, 1989; Frutos *et al.*, 2000; Canbolat *et al.*, 2005).

El ajuste de la información generada a un modelo matemático no lineal (Cuadro 2) permitió estimar una producción potencial de gas de  $335,8 \pm 30,7$  mL, con una tasa fraccional de  $0,06 \pm 0,01$  mL/h y un periodo de latencia de  $4,5 \pm 1,1$  h. Estos valores, consistentes con lo reportado en la literatura para este cereal (Cabral *et al.*, 2005), en general mostraron poca variación asociada a la adición de PEG (3,1 0,0 y

Cuadro 3. Variación† en la producción acumulada de gas *in vitro* y parámetros de su cinética estimados para los granos de 11 cultivares de sorgo a consecuencia de la adición de PEG-8000 al medio de incubación.

Cultivar	Producción de gas acumulada (%)				Parámetros‡		
	12h	24h	48h	96h	a (mL)	b (mL/h)	T(h)
<u>Chaguaramas</u>							
III	6,6	6,4	-2,8	1,0	0,27	0,0	0,01
VII	23,5	11,7	5,2	3,2	3,71	-0,01	-8,89
<u>Criollo</u>							
1	12,9	7,4	-1,4	5,0	4,45	0,0	-8,00
27	6,5	8,5	0,8	6,0	6,02	-0,01	6,67
<u>Guanipa</u>	18,6	15,3	3,9	2,7	1,27	-0,01	-10,17
<u>Himeca</u>							
101	28,2	19,8	2,7	12,9	12,40	-0,01	-10,71
400	2,8	-1,2	5,3	-0,6	-0,68	0,0	-4,65
<u>Pioneer</u>							
81-G67	8,1	7,9	-0,9	-1,4	-2,04	0,0	-1,85
83-G88	22,3	9,2	9,3	1,6	1,10	0,0	-4,92
86-P42	8,0	5,8	6,2	2,9	2,87	0,0	2,63
<u>Tecsem 120</u>	-0,2	6,4	-1,3	3,2	3,21	0,0	

†Variación (%) = [(Producción de gas sin PEG/ Producción de gas con PEG-8000)/Producción de gas sin PEG] \* 100

‡Parámetros estimados de acuerdo a un modelo exponencial (France et al., 1993): producción potencial de gas (a), tasa fraccional de producción de gas (b) y Lag time o fase de latencia (T).

3,4% para las variables antes citadas; respectivamente), tal como se muestra en el Cuadro 3. Sin embargo, los cultivares Chaguaramas VII, Criollo 1, Guanipa 95, Himeca 101 y Pioneer 83-G88 fueron los que presentaron una mayor reducción en el periodo de latencia ( $8,5 \pm 2,28\%$ ) a consecuencia de la adición de PEG, ratificando el impacto decisivo de los taninos condensados sobre las primeras etapas de la fermentación ruminal

La degradabilidad aparente de la materia orgánica y el contenido de energía metabolizable estimada para los cultivares evaluados (Cuadro 4) presentan valores de  $83,7 \pm 2,4\%$  y  $12,5 \pm 0,5$  MJ/kg MS, los cuales son similares a lo reportado en la literatura para este cereal (INRA, 2002; FEDNA, 2003; Cabral et al., 2005). La adición de PEG al medio de incubación tuvo poco impacto sobre estas variables, generando una variación de 0,6 y 0,1%; respectivamente.

En el Cuadro 5 se presentan los modelos con mayor coeficiente de determinación para las variables respuesta degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica y tasa fraccional de producción de gases. El contenido de taninos condensados mostró correlación negativa significativa ( $P < 0,05$ ) con la degradabilidad aparente de la materia orgánica a las 48 h de incubación *in vitro*, mientras que la tasa fraccional de producción de gases se asoció de modo inverso con el contenido de FND ( $P < 0,05$ ), evidenciando las limitaciones que impone el contenido de pared celular a la fermentación de la materia orgánica de este cereal. Ambas relaciones han sido reportadas previamente por diversos autores (Kumar y Singh, 1984; Makkar et al., 1989; Van Soest et al., 1991; Mauricio et al., 1999; Hervás et al., 2003; Cabral et al., 2005; Canbolat et al., 2005), y resaltan la utilidad de esta metodología en la valoración nutricional de materiales de uso actual o potencial en la alimentación de rumiantes.

Cuadro 4. Degradabilidad aparente (48 h) de la materia orgánica y contenido de energía metabolizable para los granos de 11 cultivares de sorgo.

Cultivar	Sin PEG†		Variación (%)‡	
	MO (%)	EM (MJ/kg. MS)	MO	EM
<u>Chaguaramas</u>				
III	81,0	12,3	-1,1	-0,8
VII	80,0	12,3	4,4	7,6
<u>Criollo</u>				
1	85,1	12,1	-3,6	7,4
27	80,9	12,3	3,1	3,3
<u>Guanipa</u>	83,6	12,4	-1,5	-0,8
<u>Himeca</u>				
101	84,4	12,8	2,8	2,3
400	88,4	12,3	1,7	1,6
<u>Pioneer</u>				
81-G67	82,8	12,7	1,5	-3,1
83-G88	85,8	13,3	1,3	-0,8
86-P42	83,6	11,5	-0,7	-3,9
<u>Tecsem 120</u>	84,8	13,3	-0,9	-3,0

† Parámetros obtenidos sin la adición de PEG-8000 al medio de fermentación.

MO: materia orgánica, EM: Energía metabolizable

‡ Variación (%) = [(Producción de gas sin PEG/ Producción de gas con PEG-8000)/Producción de gas sin PEG] \* 100.

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión y correlación para granos de 11 cultivares de sorgos evaluados a través de la técnica de producción de gases *in vitro*

Variable†	$y = a + bx$	P	$r^2$
Deg. 48h / sin PEG (y) Taninos condensados (x)	$y = 87,1 - 2,82 x$	0,04	0,41
B / sin PEG (y) FDN (x)	$y = 0,09 - 0,002 x$	0,03	0,39
B / con PEG (y) FDN (x)	$y = 0,10 - 0,002 x$	0,02	0,44

†Deg: Degradabilidad aparente de la materia orgánica, FDN: Fibra insoluble en detergente neutro, PEG: Polietilenglicol (PM= 8000), B: Tasa fraccional de producción de gases *in vitro*

## CONCLUSIONES

La actividad biológica de la fracción de taninos condensados extractables presentes en los cultivares comerciales de sorgo evaluados fue superior durante las primeras 12 horas de incubación *in vitro*. El mayor impacto potencial de estos metabolitos secundarios sobre la producción acumulada de gases y el periodo de latencia se registró en los cultivares Chaguaramas VII, Criollo 1, Guanipa 95, Himeca 101 y Pioneer 83-G88.

## LITERATURA CITADA

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16<sup>da</sup> ed. Association of Official Analytical Chemist. AOAC International. Washington, DC.
- Cabral S., A. Abadía, I. Bueno, E. Nozella y J. Rodrigues. 2005. Ruminant fermentation and degradability of sorghum cultivar whole crop and grains, using an *in vitro* gas production technique. *Anim. Feed Sc. Techn.*, 123-124: 329-339.
- Canbolat O., A. Kamalak, E. Ozkose, C. Ozkan, M. Sahin y P. Karabay. 2005. Effect of polyethylene glycol on *in vitro* gas production, metabolizable energy and organic matter digestibility of *Quercus cerris* leaves. *Livest. Res. Rural Develop.*, 17 (4). <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/4/canb17042.htm>
- Ciccola P. 1989. Microestructura de la testa y contenido de taninos (proantocianidinas) en algunos cultivares de sorgos producidos en el país. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay.
- Chenost M., J. Aufrère y D. Macheboef. 2001. The gas-test technique as a tool for predicting the energetic value of forage plants. *Anim. Res.*, 50: 349-364.
- FAO. 2006. FAOSTAT Agriculture. Base de Datos Agrícola. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Disponible en línea: <http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx>
- FEDNA. 2003. Tablas FEDNA de Ingredientes para Piensos. 2<sup>da</sup> ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España.
- France J., M. Dhanoa, M. Theodorou, S. Lister, D. Davies y D. Isac. 1993. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. *J. Theor. Biol.*, 163: 99-111.
- Frutos P., G. Hervás, F. Giráldez, M. Fernández y A. Mantecón. 2000. Digestive utilization of quebracho-treated soya bean meals in sheep. *J. Agr. Sci.*, 134: 101-108.
- García J. y E. Soto. 1976. Zonificación ecológica de cultivos. IV. Determinación de fechas de siembra (secano). *Rev. Fac. Agron.*, 9: 45-68.
- Hervás G., N. Mandaluniz, L. Oregui, A. Mantecón y P. Frutos. 2003. Evolución anual del contenido de taninos del brezo (*Erica vagans*) y relación con otros parámetros indicativos de su valor nutritivo. *ITEA*, 99: 69-84.
- Horigome T., R. Kumar y K. Okamoto. 1988. Effects of condensed tannins prepared from leaves of fodder plants on digestive enzymes *in vitro* and in the intestine of rats. *Br. J. Nut.*, 60: 275-285.
- INRA. 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, Francia.
- Jansman A. 1993. Tannins in feedstuffs for simple-stomached animals. *Nutr. Res. Rev.*, 6: 209-236.
- Jaramillo M., M. Peña, I. Angulo, A. León y N. Obispo. 1993. Valor nutricional de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) altos en taninos producidos en Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 11: 129-150.
- Kumar R. y M. Singh. 1984. Tannins: their adverse role in ruminant nutrition. *J. Agric. Food Chem.*, 32:447-453.



- Makkar H., B. Singh y S. Negi. 1989 Relationship of rumen degradability with microbial colonization, cell wall constituents and tannin levels in some tree leaves. *Anim. Prod.*, 49: 299-303.
- Makkar H., M. Bluemmel y K. Becker. 1995. Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidone and polyethylene glycol with tannins and their implications in gas production and true digestibility in *in vitro* techniques. *Br. J. Nutr.*, 73: 897-913.
- Mauricio R., F. Mould, M. Dhanoa, E. Owen, K. Channa y M. Theodorou. 1999. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Anim. Feed Sc. Techn.*, 79: 321-330.
- Menke K. y H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.*, 28: 7-55.
- Porter L, L. Hrstich y B. Chan. 1986. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochem.*, 25: 223-230.
- Priolo A., G. Waghorn, M. Lanza, L. Biondi y P. Pennisi. 2000. Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: Effects on lamb growth performance and meat quality. *J. Anim. Sci.*, 78: 810-816.
- Reed J. 2001. Effects of proanthocyanidins on digestion of fiber in forages. *J. Range Manage.*, 54: 466-473.
- SAS. 1992. SAS/STAT User's guide, ver. 6. Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, NC.
- Scalbert A. 1991. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochem.*, 12: 3875-3883.
- Steel R. y J. Torrie. 1985. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2<sup>da</sup> ed. Mc Graw-Hill. Bogotá. Colombia.
- Terril T., A. Rowan, G. Douglas y T. Barry. 1992. Determination of extractable and bound condensed tannin concentration in forage plants, protein concentrate meals and cereal grains. *J. Sci. Food Agric.*, 58: 321-329.
- Theodorou M., B. Williams, M. Dhanoa, A. McAllan y J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feed. *Anim. Feed Sc. Techn.*, 48: 185-197.
- Van Soest, P., J. Robertson y B. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597.
- Waghorn G., G. Ulyatt, M. John y M. Fisher. 1987. The effect of condensed tannins on the site of digestion of amino acids and other nutrients in sheep fed on *Lotus corniculatus* L. *Br. J. Nutr.*, 57: 115-126.