



Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente

ISSN: 2007-3828

rforest@correo.chapingo.mx

Universidad Autónoma Chapingo  
México

Domínguez-Gómez, Tilo Gustavo; González-Rodríguez, Humberto; Guerrero-Cervantes, Maribel;  
Cerrillo-Soto, María Andrea; Juárez-Reyes, Arturo Saúl; Alvarado, María del Socorro; Ramírez  
Lozano, Roque Gonzalo

INFLUENCIA DEL POLIETILÉN GLICOL SOBRE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE GAS in  
vitro EN CUATRO FORRAJERAS NATIVAS CONSUMIDAS POR EL VENADO COLA BLANCA

Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. XVII, 2011, pp. 21-32

Universidad Autónoma Chapingo  
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62921030011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



## INFLUENCIA DEL POLIETILÉN GLICOL SOBRE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE GAS *in vitro* EN CUATRO FORRAJERAS NATIVAS CONSUMIDAS POR EL VENADO COLA BLANCA

### POLYETHYLENE GLYCOL INFLUENCE ON *in vitro* GAS PRODUCTION PARAMETERS IN FOUR NATIVE FORAGES CONSUMED BY WHITE-TAILED DEER

Tilo Gustavo Domínguez-Gómez<sup>1</sup>; Humberto González-Rodríguez<sup>1</sup>; Maribel Guerrero-Cervantes<sup>2</sup>; María Andrea Cerrillo-Soto<sup>2</sup>; Arturo Saúl Juárez-Reyes<sup>2</sup>; María del Socorro Alvarado<sup>1</sup>; Roque Gonzalo Ramírez Lozano<sup>3\*</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Apartado Postal 41, Linares, Nuevo León, C. P. 67700, MÉXICO.

<sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, km 11.5 Carretera Durango-Mezquital, Durango, C. P. 34280, MÉXICO.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C. P. 66450, MÉXICO. Correo-e: roque.ramirez@uanl.edu.mx (\*Autor para correspondencia).

#### RESUMEN

La composición química y la fermentación *in vitro* se determinó en hojas tratadas con y sin polietilén glicol (PEG), de arbustivas nativas del noreste de México como: *Acacia amentacea*, *Celtis pallida*, *Forestiera angustifolia* y *Parkinsonia texana* colectadas en agostaderos manejados sin disturbio. Las colectas se realizaron en enero y abril de 2009 en tres municipios (China, Linares y Los Ramones) del estado de Nuevo León, México. La composición química y la cinética de la fermentación *in vitro* variaron ampliamente entre sitios, plantas y entre muestreos dentro de especies. Sólo *A. amentacea* (18 %) y *P. texana* (8 %), que tuvieron alto contenido de taninos condensados (TC), aumentaron significativamente los parámetros de producción de gas y la energía metabolizable (EM) después del tratamiento con PEG. *Celtis pallida* y *F. angustifolia* tuvieron el más bajo contenido de lignina (LDA) y TC; sin embargo, *C. pallida* resultó con la más alta fermentación *in vitro*. Lo anterior se podría explicar por diferencias entre arbustivas respecto a las características genéticas relacionadas con la actividad de los metabolitos secundarios de las plantas. Todas las plantas tuvieron alto valor nutricional para el venado cola blanca debido a que su aparato digestivo tiene mecanismos para neutralizar TC.

#### ABSTRACT

The chemical composition and the *in vitro* fermentation in leaves, treated with or without polyethylene glycol (PEG), of native shrub from northeastern Mexico, such as: *Acacia amentacea*, *Celtis pallida*, *Forestiera angustifolia* and *Parkinsonia texana* were established. These shrubs were gathered from fields without any disturbance. Leaves were collected at two sampling times (January and April, 2009) in three municipalities (China, Linares and Los Ramones) of the state of Nuevo Leon, Mexico. A wide range in chemical composition and *in vitro* gas production kinetics was observed among sites, species and sampling times of each species. *A. amentacea* (CT = 18 %) and *P. texana* (8 %), which had a higher condensed tannins content (CT), significantly increased the *in vitro* gas production parameters and the metabolizable energy after a treatment with PEG. *Celtis pallida* had the highest *in vitro* fermentation parameters due to the lower levels of lignin (ADL) and CT. Some variation was observed among shrubs such as in *F. angustifolia* that had lower fermentation and lower ADL and CT. This discrepancy could be due to genotypic characteristics relative to the type of plant secondary compounds activity. All plants resulted with high nutritional value for white-tailed deer knowing that deer have digestive mechanisms to neutralize CT.

Recibido: 13 septiembre, 2010  
Aceptado: 22, mayo, 2011  
doi:10. 5154/r.rchscfa. 2010.09.073  
<http://www.chapingo.mx/revistas>

**PALABRAS CLAVE:** *Acacia amentacea*, *Celtis pallida*, *Forestiera angustifolia*, *Parkinsonia texana*, composición química, fermentación ruminal.

**KEY WORDS:** *Acacia amentacea*, *Celtis pallida*, *Forestiera angustifolia*, *Parkinsonia texana*, chemical composition, ruminal fermentation

## INTRODUCCIÓN

Para la evaluación de alimentos, la técnica de la producción de gas *in vitro* se emplea en los forrajes exitosamente para una gran variedad de propósitos, incluyendo cálculos de la digestibilidad de la materia orgánica, estimación de su contenido en energía metabolizable y su cinética de fermentación (Getachew *et al.*, 2002). Bajo ciertas circunstancias, la técnica de producción de gas se puede usar para estimar cómo la disminución en la actividad microbial en el rumen, -la cual resulta de la presencia de TC, alcaloides y saponinas que tienen efectos biológicos negativos sobre los microorganismos ruminales-, provoca una disminución en la digestibilidad de los forrajes, principalmente en las leguminosas (Getachew *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2000; Waghorn, 2008). Los efectos de los TC en el valor nutritivo de los alimentos pueden estudiarse usando agentes aglutinantes tales como el polietilén glicol (PEG), el cual se enlaza fuertemente con los taninos e inhibe sus efectos biológicos. El porcentaje de incremento en la producción de gas indica la magnitud con la cual los taninos deprimen la fermentación de los alimentos (Perevolotsky *et al.*, 2006).

Los arbustos nativos *Acacia amentacea* Benth. (Leguminosae), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae) y *Parkinsonia texana* I. M. Johnst. (Leguminosae), que crecen en el Matorral Tamulipeco Espinoso, son importantes fuentes de alimento para el venado cola blanca (Ramírez-Lozano, 2004). Asimismo, proveen madera de alta calidad para formar cercos y para construcción y son ampliamente distribuidos, junto con otras especies, formando conglomerados (Everitt *et al.*, 2002). Sin embargo, cuando se emplean como alimentos, son afectados por varios factores que influyen sobre parámetros como su composición química y digestibilidad cuando se consideran los efectos de espacio (sitios), condiciones ambientales (estacionalidad) y compuestos secundarios de las plantas (TC). Por tanto, este estudio se realizó con el objetivo de determinar y comparar estacionalmente la composición química y los parámetros de producción de gas *in vitro* en cuatro arbustos nativos tratados con y sin PEG.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se condujo en tres sitios de muestreo localizados en el estado de Nuevo León, México. El sitio 1 se localizó en el rancho Zaragoza en el municipio de China (25° 31' N y 99° 16' O; elevación de 200 m). El sitio 2 se situó en la Estación Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León en el municipio de Linares (24° 47' N; 99° 32' O; elevación de 350 m). El sitio 3 se ubicó en el rancho El Abuelo en el municipio de Los Ramones (25° 40' N; 99° 27' O; elevación de 200 m). La vegetación

## INTRODUCTION

The *in vitro* gas production technique is used in forages for a variety of purposes, including calculating organic matter digestibility, metabolizable energy and fermentation kinetics (Getachew *et al.*, 2002). Under certain circumstances, the gas production technique can be used to estimate how the decrease in rumen microbial activity produces a decline in forages digestibility. Legumes (Getachew *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2000; Waghorn, 2008) contain CT, alkaloids and saponins that have negative biological effects on rumen microorganisms. The effect of condensed tannins in nutritive value of animal feed can be studied using tannin-binding agents, such as polyethylene glycol (PEG), which strongly binds to tannins and inhibits their biological effects. The percent of increment in gas production shows the rate at which tannins depress rumen fermentation of animal feeds (Perevolotsky *et al.*, 2006).

The following native shrubs grow in the (*Matorral Espinoso Tamulipeco*) Tamaulipan shrublands or Subtropical Thornscrub Woodlands of the northeastern Mexico, such as *Acacia amentacea* Benth. (Leguminosae), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae) and *Parkinsonia texana* I. M. Johnst. (Leguminosae), they are important animal feed resources for white-tailed deer (Ramírez-Lozano, 2004). They also provide high quality wood for fencing and construction, and are widely distributed in combination with other species (Everitt *et al.*, 2002). However, when native shrubs are used as animal feed, are affected by several factors causing differences in the chemical composition and digestibility parameters, considering effects such as space (sites), weather (seasonality) and plants secondary compounds (tannins). Thus, the aims of the present study were to seasonally establish and compare the chemical composition and the *in vitro* gas production parameters in four shrubs treated with PEG.

## MATERIALS AND METHODS

This study was carried out at three sampling sites situated in the state of Nuevo Leon, Mexico. Site 1 was located in rancho Zaragoza, municipality of China (25° 31' N and 99° 16' W; elevation of 200 m). Site 2, located in the Experimental Field, *Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autonoma de Nuevo León*, municipality of Linares (24° 47' N; 99° 32' W; elevation of 350 m). Site 3 located in *rancho El Abuelo*, municipality of Los Ramones (25° 40' N; 99° 27' W, elevation of 200 m). The vegetation of the three sites is composed by native shrubs, (representative of the central part of the state of Nuevo Leon, Mexico) which are consumed by domestic livestock (cattle, sheep and goats) and wildlife (white-tailed deer; *Odocoileus virginianus*) (González-

de los tres sitios está compuesta de plantas arbustivas forrajeras que son consumidas por el ganado doméstico (bovino, ovino y caprino) y la fauna silvestre (venado cola blanca; *Odocoileus virginianus*), y es representativa de la parte central del estado de Nuevo León (González-Rodríguez *et al.*, 2010).

En general, los tres sitios se encuentran agrupados bajo un mismo patrón climático (subtropical y semiárido con veranos cálidos), con una precipitación anual que varía de 650 a 800 mm con una distribución bimodal (los picos de lluvia se presentan durante mayo-junio y agosto-septiembre). La media mensual de la temperatura del aire de la región varía de 14.7 °C en enero a 37 °C en agosto, aun cuando temperaturas de 45 °C son comunes durante el verano (González-Rodríguez *et al.*, 2004). El principal tipo de vegetación de la región es conocido como Matorral Espinoso Tamaulipeco (SPP-INEGI, 1986). Los suelos dominantes son vertisoles profundos, gris oscuro, grisáceos, limo-arcillosos, con Montmorillonita, que se contraen y se expanden perceptiblemente en respuesta a los cambios en el contenido de humedad del suelo.

Especies arbustivas como *Acacia amentacea* Benth. (Leguminosae), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae) y *Parkinsonia texana* I.M. Johnst. (Leguminosae), que son representativas de la vegetación nativa del noreste de México y de los ecosistemas de la sabana subtropical del sureste de Texas, EUA (Everitt *et al.*, 2002), y que las consumen los rumiantes en pastoreo (Ramírez-Lozano, 2009), se seleccionaron para analizarlas químicamente y determinar la producción de gas *in vitro*.

En cada sitio de muestreo los ápices terminales con hojas completas de cinco plantas por especie se eligieron aleatoriamente (Montgomery, 2004) de una parcela representativa de 50 m X 50 m y sin disturbio del matorral espinoso. Las colectas se realizaron en enero y abril de 2009. Los ápices se muestrearon (alrededor de 800 g) en la parte media de las plantas de cada especie. Muestras por triplicado de cada especie de planta se usaron para análisis. La materia seca (MS) parcial se determinó mediante el secado de las muestras en una estufa a 55 °C durante 72 horas. Posteriormente, se molieron en un molino Wiley (1 mm) y se almacenaron en recipientes de plástico para futuros análisis de laboratorio. Se determinó el contenido de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas (AOAC, 1997). La fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA) se determinaron según los procedimientos descritos por Van Soest *et al.* (1991). La hemicelulosa (FDN-FDA) y celulosa (FDA-LDA) se estimaron por diferencia.

La producción de gas *in vitro* de las especies colectadas se determinó mediante la técnica propuesta por

Rodríguez *et al.*, 2010). In general, the three locations are set under a similar climatic pattern (subtropical and semiarid with warm summer) with an annual precipitation that oscillates from 650 to 800 mm with a bimodal distribution (peaks rainfall are during May-June and August-September). Monthly mean air temperature of the region oscillates from 14.7 °C in January to 22.3 °C in August, although daily high temperatures of 45 °C are common during summer (González-Rodríguez *et al.*, 2004). The main type of vegetation of the region is known as Tamaulipan shrublands or Subtropical Thornscrub Woodlands (SPP-INEGI, 1986). The dominant soils are deep, dark-gray, lime-gray, lime-clay vertisols, with montmorillonite, which shrink and swell noticeably in response to changes in soil moisture content.

The shrub species such as *Acacia amentacea* Benth. (Leguminosae), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae) *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae) and *Parkinsonia texana* I.M. Johnst. (Leguminosae) are representative of the native vegetation of the northeastern Mexico and the subtropical savanna ecosystems of southern Texas, USA (Everitt *et al.*, 2002) and are consumed by grazing ruminants (Ramírez-Lozano, 2009). These shrubs were selected for chemical and *in vitro* gas production analyses.

Leaves from at least five different plants per species were randomly chosen (Montgomery, 2004) from a 50 m x 50 m representative and undisturbed thorn scrub plot located in each site. Samples were obtained at two sampling times (January and April, 2009). Shoots were excised and sampled (about 800 g) from the middle side of each plant. Triplicate samples of each plant were used for analyses. Partial dry matter (DM) was established by setting samples in an oven at 55 °C during 72 h, then grounded in a Wiley mill (1 mm) and stored in plastic containers for further analyses. By triplicate, samples were analyzed for crude protein (CP), ether extract (EE) and ash content (AOAC, 1997). Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) were established according to the procedures described by Van Soest *et al.* (1991). Hemicellulose (NDF-ADF) and cellulose (ADF-ADL) were estimated by difference.

*In vitro* gas production was performed following the procedure of Menke and Steingass (1988). Triplicate samples of 500 mg were incubated in 100 mL calibrated glass syringes. The effect of PEG on *in vitro* gas production was estimated with the incorporation of 1 g of PEG-6000 (PEG of MW = 6000) in a different set of syringes. Rumen fluid of three fistulated sheep, which were fed with alfalfa and commercial concentration (75:25), was collected. In order to obtain the inoculum, rumen fluid and buffer solution were mixed (35 g NaHCO<sub>3</sub> and 4 g NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> per liter) in a ratio of 1:2. Each syringe was inoculated with 40 ml of this solution. The syringes were



Menke y Steingass (1988), para lo cual se colocaron 500 mg de muestra (MS) en tres repeticiones en jeringas de vidrio calibradas de 100 ml. Para estimar el efecto del PEG (Makkar *et al.*, 2005) sobre la producción de gas *in vitro* se colocaron las muestras como se menciona anteriormente, además de añadir 1 g de PEG-6000 a otras tres jeringas, por lo que se incubaron seis jeringas de cada muestra. Se colectó líquido ruminal de tres ovinos fistulados de rumen, los cuales se alimentaron a base de heno de alfalfa y concentrado comercial (75:25). Para preparar el inóculo se mezcló el líquido ruminal con una solución buffer de sodio y bicarbonato de amonio (35 g  $\text{NaHCO}_3$  y 4 g  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  por litro) en una proporción de 1:2 (v/v). Se inoculó con 40 ml de esta solución a cada una de las jeringas. Las jeringas se colocaron en posición vertical en un baño maría a 39 °C. Se colocaron tres jeringas como blancos, las cuales sólo contenían 40 ml del inóculo. La producción de gas se registró a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 h después de la inoculación.

Los datos obtenidos se ajustaron a la ecuación no lineal propuesta por Ørskov y McDonald (1979)  $p = a + b(1 - e^{-ct})$ , donde  $p$  representa el volumen del gas al tiempo  $t$ ,  $a$  el intercepto,  $a + b$  la producción potencial de gas y  $c$  la tasa constante de producción de gas durante la incubación. El contenido de energía metabolizable (EM) de las especies se estimó utilizando los resultados de la producción de gas *in vitro* después de 24 h de incubación, así como algunos valores de la composición química de las especies vegetales, los cuales se usan en la ecuación siguiente:  $\text{EM (MJ/kg materia seca)} = 2.20 + 0.136\text{PG}_{24\text{h}} + 0.057\text{PC} + 0.0029\text{EE}^2$ . Donde: PG es la producción de gas a las 24 h de incubación (ml/200 mg MS); PC y EE son proteína cruda y extracto etéreo (% MS), de acuerdo al procedimiento propuesto por Menke y Steingass (1988).

Los datos de composición química, producción de gas *in vitro* y de EM, con y sin la adición de PEG, se analizaron estadísticamente mediante un diseño completamente al azar con un arreglo trifactorial incluyendo los efectos de los tres sitios (Ramones, Linares y China), especies arbustivas (*A. amentacea*, *C. pallida*, *F. angustifolia* y *P. texana*) y estaciones del año (invierno y primavera) y las dobles y triple interacciones (Montgomery, 2004). Se empleó la prueba de  $t$  para comparar los parámetros de fermentación  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $a+b$  y EM de las plantas tratadas con y sin PEG. Asimismo, se realizaron análisis de correlación Pearson entre la composición química y los parámetros de producción de gas *in vitro* y EM con y sin PEG. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete computacional SPSS de Windows versión 13 (SPSS, 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de cenizas fue significativamente diferente entre sitios, especies y estaciones. Las interac-

vertically positioned in a water bath at 39 °C. Gas production was registered at 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 and 96 h.

The results obtained were adjusted to the model  $p = a + b(1 - e^{-ct})$  (Ørskov and McDonald, 1979), where  $p$  = gas production at time  $t$ ;  $a$  = the intercept;  $b$  = gas produced from the insoluble but slowly degradable fraction of animal feed;  $a+b$  = potential gas production and  $c$  = constant rate of gas production (%·h<sup>-1</sup>). The content of metabolizable energy (ME) was estimated using the results from the *in vitro* gas production after 24 h incubation, and some values of the chemical composition of the plants, used in the following equation:  $\text{ME (MJ·kg}^{-1}\text{ DM)} = 2.20 + 0.136 \text{ Gas production}_{24\text{h}} + 0.057 \text{ CP} + 0.0029 \text{ EE}^2$ , where PG is the gas production after 24 h incubation (ml/200 mg MS); CP = crude protein and EE = ether extract (%MS), according to the procedure proposed by Menke and Steingass (1988).

Data related to chemical composition, *in vitro* gas production parameters and metabolizable energy, with or without PEG treatment, were statistically analyzed according to completely randomized designs with trifactorial arrangement including the effects of the three municipalities (Ramones, Linares and China), shrubs (*A. amentacea*, *C. pallida*, *F. angustifolia* and *P. texana*), seasons (winter and spring) and double and triple interactions (Montgomery, 2004). In order to compare the fermentation parameters  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $a+b$ , and ME with or without PEG treatment the  $t$ -test was performed. In addition, Pearson correlation analyses were carried out between chemical composition and *in vitro* gas production parameters and ME with or without PEG treatment (Montgomery, 2004). All the statistical analyses were carried out using SPSS computer software for Windows Version 13 (SPSS, 2004).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Chemical composition

Ash content was significantly different between sites, plants and seasons. Double and triple interactions were also significantly different (Table 1). Site 2 had a lower ash content (13 %) than site 1 and 3 (14 % both). *Celtis pallida* and *F. angustifolia* had similar ash content (19 %) but higher than *P. texana* (10 %) and *A. amentacea* (6 %). During winter, ash content (15 %) was higher than in spring (12 %). Crude protein content was significantly different between sites, plants and seasons. Double and triple interactions were significantly different as well (Table 1). Site 2 had the highest CP content (16 %) compared to site 1 and 3 (15 % both). *Parkinsonia texana* had the highest CP content (20 %) followed by *C. pallida* (16 %), *F. angustifolia* (14 %) and *A. amentacea* (13 %). During winter, CP was higher (17 %) than in spring (14 %). The CP oscillated between 12 and 22

ciones dobles y la triple también fueron significativas (Cuadro 1). El valor obtenido para el sitio 2 (13 %) fue más bajo que para los sitios 1 y 3 (ambos con 14 %). It seems that all plants, in all sites and both seasons, had sufficient CP content to maintain rumen microbial activity (7-8 %; Van Soest, 1994). In winter, except for

**CUADRO 1. Valores medios de la composición química de las plantas arbustivas.**

**TABLE 1. Mean values of the chemical composition of the native shrubs.**

Sitos	Especies	Estaciones	Cenizas %	CP %	FDN %	LDA %	EE %	TC %
1	<i>A. amentacea</i>	Invierno	7	12	46	19	2.6	17.5
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	5	12	54	23	0.7	19.6
	<i>C. pallida</i>	Invierno	22	18	53	6	1.5	0.4
	<i>C. pallida</i>	Primavera	18	14	51	6	0.8	0.2
	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	20	14	39	8	1.3	0.5
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	18	12	41	9	0.9	0.3
	<i>P. texana</i>	Invierno	11	21	39	9	2.1	8.1
	<i>P. texana</i>	Primavera	11	18	43	10	1.6	9.5
2	<i>A. amentacea</i>	Invierno	6	14	45	19	3.8	16.2
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	5	12	54	20	1.9	18.3
	<i>C. pallida</i>	Invierno	21	19	51	5	2.1	0.2
	<i>C. pallida</i>	Primavera	16	14	52	7	0.8	0.2
	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	20	16	38	8	1.2	0.2
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	19	13	40	9	0.8	0.3
	<i>P. texana</i>	Invierno	10	22	37	9	2.8	7.2
	<i>P. texana</i>	Primavera	8	20	41	10	1.5	8.1
3	<i>A. amentacea</i>	Invierno	7	13	46	18	2.6	18.2
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	6	12	55	21	0.8	18.9
	<i>C. pallida</i>	Invierno	23	18	46	6	2.0	0.3
	<i>C. pallida</i>	Primavera	17	13	60	7	0.7	0.2
	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	19	14	41	8	1.2	0.3
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	18	13	42	9	1.1	0.4
	<i>P. texana</i>	Invierno	10	20	34	10	2.8	8.3
	<i>P. texana</i>	Primavera	9	19	42	11	2.0	8.6
Media			14	15	45	12	1.7	6.8
EEM			0.1	0.1	0.3	0.1	0.01	0.02
Valores de F y niveles de significancia								
Factores	Sitos (A)		114***	18***	33***	199***	41***	135***
	Especies (B)		4178***	515***	682***	2451***	71***	5812***
	ESTaciones (C)		103***	46***	614***	566**	503***	284***
	AxB		52***	4***	15***	42***	4***	37***
	AxC		140***	11***	19***	177***	17***	30***
	BxC		103***	13***	25***	31***	106***	124***
	AxBxC		60***	16***	39***	42***	6***	14***

Sito 1 = China; Sito 2 = Linares; Sito 3 = Ramones; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; LDA = lignina detergente ácido; EE = extracto etéreo; TC = taninos condensados; EEM = error estándar de la media; \*\*\*( $P < 0.001$ ).

Site 1 = China; Site 2 = Linares; Site 3 = Ramones; CP = crude protein; NDF = neutral detergent fiber; ADL = acid detergent lignin; EE = ether extract; CT = condensed tannins; SEM = standard error of the mean; \*\*\*( $P < 0.001$ ).

*Celtis pallida* y *F. angustifolia* tuvieron contenido similar de cenizas (19 %) pero fueron mayores que *P. texana* (10 %) o *A. amentacea* (6 %). En invierno, el contenido de cenizas (15 %) fue mayor que en primavera (12 %). El contenido de PC fue significativamente diferente entre sitios, especies, estaciones y las interacciones dobles y la triple también fueron significativas (Cuadro 1). Las plantas en el sitio 2 tuvieron el mayor contenido de PC (16 %) comparadas con los otros sitios (15 % en ambos). *Parkinsonia texana* tuvo el mayor contenido de PC (20 %) seguida por *C. pallida* (16 %), *F. angustifolia* (14 %) y *A. amentacea* (13 %). En invierno, la PC (17%) fue mayor que en primavera (14 %). La PC varió de 12 a 22 %. Al parecer, todas las plantas, en todos los sitios y en ambas estaciones tuvieron suficiente PC para mantener la actividad microbial del rumen (7-8 %; Van Soest, 1994). Además, en invierno, excepto por *A. amentacea*, todas las plantas tuvieron valores de PC para sostener la productividad y crecimiento de las astas del venado cola blanca (14 % y más; Ramírez-Lozano, 2004).

El contenido de FDN fue significativamente diferente entre sitios, especies y estaciones, y las interacciones dobles y la triple también fueron significativas (Cuadro 1). Las plantas del sitio 2 tuvieron un porcentaje más bajo (46) que las del sitio 1 (46) o las del sitio 3 (52). *Celtis pallida* fue la de mayor porcentaje (52) seguida por *A. amentacea* (50), *F. angustifolia* (40) y *P. texana* (39). En primavera (48 %) el contenido de FDN fue mayor que en invierno (43 %). El principal factor que disminuye la digestibilidad de los forrajes, cuando maduran, es el alto contenido de fibra (FDN) y bajo contenido celular (Ramírez et al., 2000). El porcentaje de FDA fue similar en todos los sitios (alrededor de 11 %). *Acacia amentacea* tuvo el valor más alto de FDA (20 %) seguida por *P. texana* (10 %), *F. angustifolia* (9 %) y *C. pallida* (6 %). En primavera, la LDA fue mayor (12 %) que en invierno (10%). En este estudio, la LDA varió de 6 a 23 %. Porcentajes similares (2-24 %) fueron reportados por Schwartz y Renecker (1998) y ellos argumentaron que la digestibilidad potencial de la FDN disminuye de 91 a 20 % conforme el contenido de LDA se incrementa de 5 a 15 %. Lo anterior se debe a que la LDA se enlaza con los polisacáridos de la pared celular y restringe el acceso microbial durante la digestión en el rumen (Van Soest, 1994).

El contenido de EE fue significativamente diferente entre sitios, plantas y estaciones, y las interacciones dobles y la triple también fueron significativas (Cuadro 1). El sitio 2 (1.7 %) resultó mayor seguido por los sitios 3 (1.6 %) y 1 (1.4 %). *Acacia amentacea* tuvo el valor más alto (2.1 %) seguida por *P. texana* (1.7 %), *C. pallida* (1.3 %) y *F. angustifolia* (1.1 %). En invierno (2.2 %) el EE fue mayor que en primavera (1.1 %). El contenido de TC fue significativamente diferente entre sitios, especies, estaciones y las interacciones dobles y la triple también fueron significativas (Cuadro 1). El sitio 1 fue mayor (7.0

*A. amentacea*, all plants had CP values to sustain small ruminant productivity and for the growth of white-tailed deer antlers (14 % and above; Ramírez-Lozano, 2004).

NDF content was significant different between sites, plants and seasons. Double and triple interactions were also significantly different (Table 1). Site 2 had a lower NDF (45 %) than site 1 and 3 (46 % both). *Celtis pallida* (52 %) had the highest rate followed by *A. amentacea* (50 %), *F. angustifolia* (40 %) and *P. texana* (39 %). During spring, NDF content was higher (48 %) than in winter (43 %). The main factors that reduce forages digestibility, at maturity, are high fiber content (FND) and the low cell-soluble concentrations (Ramírez et al., 2000). All sites had very similar ADF content (around 11 %). *Acacia amentacea* had the highest value of ADL (20 %) followed by *P. texana* (10 %), *F. angustifolia* (9 %) and *C. pallida* (6 %). During spring, ADL content was higher (12 %) than in winter (10 %). In the present study, ADL oscillated from 6 to 23 %. Similar values (2-24 %) were obtained by Schwartz and Renecker (1998) arguing that potential digestibility of NDF decreases from 91 to 20 % as ADL content of cell wall increases from 5 to 15 %. This is due to ADL binding to cell wall polysaccharides and restricts microbial access during digestion (Van Soest, 1994).

EE content was significantly different between sites, plants and seasons. Double and triple interactions were significantly different as well (Table 1). Site 2 (1.7 %) obtained the highest value followed by site 3 (1.6 %) and site 1 (1.4 %). *Acacia amentacea* had the highest EE content (2.1 %) followed by *P. texana* (1.7 %), *C. pallida* (1.3 %) and *F. angustifolia* (1.1 %). During winter (2.2 %) EE was higher than in spring (1.1 %). CT content was significant different between sites, plants and seasons. Double and triple interactions were also significant (Table 1). Site 1 had a higher CT content (7.0 %) than site 3 (6.8 %) and site 2 (6.3 %). *Acacia amentacea* (18.1 %) had a higher value than *P. texana* (8.3 %), *C. pallida* (0.3) or *F. angustifolia* (0.3 %). During winter CT content was lower (6.5 %) than in spring (7.1 %).

PEG treatment increased the gas production in the soluble fraction **a** between sites, plants and seasons. Double and triple interactions were also significantly different (Table 2). Particularly, in *A. amentacea* the addition of PEG increased the gas production in a 20 %, in all sites. Moreover, in winter, PEG treatment for *A. amentacea* was higher than in summer, increasing 29 % and for *P. texana* 18 % the gas production. Nevertheless, *C. pallida* and *F. angustifolia* were unaffected by PEG treatment (Table 3).

Fraction **a** was positively correlated with ash content ( $r = 0.52$ ;  $P < 0.001$ ), CP ( $r = 0.45$ ;  $P < 0.001$ ) and ME ( $r = 0.48$ ;  $P < 0.001$ ), whereas, was negatively influenced

%) que el sitios 3 (6.8 %) o el sitio 2 (6.3 %). *Acacia amentacea* (18.1 %) fue mayor que *P. texana* (8.3 %), *C. pallida* (0.3) o *F. angustifolia* (0.3 %). En invierno (6.5 %) el contenido de TC fue menor que en primavera (7.1 %).

La adición de PEG a las hojas de las plantas incrementó la producción de gas en la fracción soluble **a** entre sitios, especies y estaciones. Las interacciones dobles y la triple también fueron significativas (Cuadro 2). Particularmente, en *A. amentacea* la adición de PEG aumentó en un 20 % el gas producido, en todos los sitios. Asimismo, en invierno, la adición de PEG en *A. amentacea* fue superior en 29 % y *P. texana* en un 18 % que en primavera. Sin embargo, *C. pallida* o *F. angustifolia* no fueron afectadas por el tratamiento con PEG (Cuadro 3). La fracción **a** estuvo positivamente correlacionada con el contenido de cenizas ( $r = 0.52$ ;  $P < 0.001$ ), PC ( $r = 0.45$ ;  $P < 0.001$ ) y EM ( $r = 0.48$ ;  $P < 0.001$ ); sin embargo, estuvo negativamente influida por el contenido de FDN ( $r = -0.39$ ;  $P < 0.001$ ), LDA ( $r = -0.56$ ;  $P < 0.001$ ) y TC ( $r = -0.48$ ;  $P < 0.001$ ). Sin embargo, la presencia de PEG resultó en correlaciones positivas entre la fracción **a** y TC ( $r = 0.52$ ;  $P < 0.001$ ) y negativamente con otros componentes químicos de las plantas.

Estudios previos (Nherera *et al.*, 1999; Getachew *et al.*, 2002) han reportado efectos negativos de los componentes de la pared celular sobre la producción de gas *in vitro*. La correlación positiva entre los TC y los parámetros de la producción de gas *in vitro* con la presencia de PEG, muestra la relevancia del uso de la técnica de la producción de gas *in vitro* para detectar la presencia de compuestos secundarios de las plantas en las especies nativas (Ammar *et al.*, 2005).

Efectos significativos en la producción de gas de la fracción insoluble, pero lentamente degradable **b**, de las arbustivas evaluadas en este estudio, debido a la incorporación de PEG se observaron entre sitios, especies y estaciones y las interacciones doble y la triple también fueron significativas (Cuadro 2). La adición de PEG resultó en un aumento de la fracción **b** en *A. amentacea* en todos los sitios. En invierno, el PEG causó que se produjera un 22 % más gas y en primavera un 63 %. El efecto del PEG en *P. texana* en todos los sitios resultó en un 6 % de aumento de gas producido; un escenario similar fue observado en las muestras de invierno y primavera. Sin embargo, la cinética fermentativa en la fracción **b** en *C. pallida* o *F. angustifolia* no fue afectada por la adición de PEG (Cuadro 3). Los coeficientes de correlación entre los valores de la fracción **b** y los de la composición química presentaron un comportamiento similar que los de la fracción **a**.

La adición de PEG incrementó significativamente la tasa de producción de gas (**c**) entre sitios, especies y estaciones y las interacciones dobles y la triple tam-

**CUADRO 2.** Valores de F y niveles de significancia de los principales factores e interacciones obtenidas del análisis de varianza llevado a cabo para comparar los parámetros de la producción de gas *in vitro* (**a**, **b**, **c**, **a+b**) y la energía metabolizable (EM) en las plantas tratadas con y sin polietilén glicol (PEG) 6000.

**TABLE 2.** Values of F and significant levels of main factors and interactions obtained from the analysis of variance carried out to compare the *in vitro* gas production parameters (**a**, **b**, **c**, **a+b**) and metabolizable energy (ME) in shrubs with or without polyethylene glycol 6000

Concepto	a	b	c	a+b	EM
<b>Sin PEG</b>					
Sitos (A)	19***	6**	11***	17***	24***
Especies (B)	28***	549***	530***	243***	860***
Estaciones (C)	46***	7**	51***	4*	13***
AxB	17***	7**	12***	17***	37***
AxC	12***	6**	11***	7**	15***
BxC	8***	41***	25***	39***	52***
AxBxC	6**	10***	14***	20***	23***
<b>Con PEG</b>					
Sitos (A)	50***	5**	12***	14***	48***
Especies (B)	379***	265***	562***	53***	952***
Estaciones (C)	137***	64***	64***	4*	28***
AxB	23***	6**	10***	14***	66***
AxC	48***	8***	7**	4*	7**
BxC	16***	45***	14***	47***	105***
AxBxC	6**	11***	12***	21***	42***

\*\*\*( $P < 0.001$ ); \*\* ( $P < 0.01$ ).

by NDF ( $r = -0.39$ ;  $P < 0.001$ ), ADL ( $r = -0.56$ ;  $P < 0.001$ ) and CT content ( $r = -0.48$ ;  $P < 0.001$ ). However, the presence of PEG was in positive correlations between fraction **a** and CT ( $r = 0.52$ ;  $P < 0.001$ ) and negatively with the other plants chemical compounds.

Previous studies (Nherera *et al.*, 1999; Getachew *et al.*, 2002) have shown a negative effect of the cell wall compounds on *in vitro* gas production. Positive correlations between CT and *in vitro* gas production parameters in the presence of PEG support the use of the *in vitro* gas production test in order to detect the presence of secondary compounds in native species (Ammar *et al.*, 2005).

Significant effects in gas production from the insoluble but slowly degradable fraction **b** due to the incorporation of PEG were observed between plants, plants and seasons. Double and triple interactions were also significantly different (Table 2). PEG treatment produced an increase in fraction **b** in *A. amentacea*, in all sites. During winter PEG treatment caused a rise in gas production of 22 % while in spring the increment was of 63 %. The effect of PEG treatment in samples of *P. texana*, in all sites, was of 6% more gas; a similar scenario was observed in samples from winter and spring. However, the



**CUADRO 3. Medias de los parámetros de la producción de gas *in vitro* y energía metabolizable (EM) en las plantas tratadas con y sin polietilén glicol (PEG) 6000.****TABLE 3. Means of *in vitro* gas production parameters in metabolizable energy of plants with or without polyethylene glycol 6000.**

Sitios	Arbustivas	Estaciones	PEG	a, ml/500mg	b, ml/500mg	c,%/h	a+b, ml/500mg	EM, MJ/kg
1	<i>A. amentacea</i>	Invierno	Con	15	74	9	90	7
	<i>A. amentacea</i>	Invierno	Sin	14	51	5	66	6
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	Con	13	78	6	90	7
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	Sin	11	45	3	55	5
	<i>C. pallida</i>	Invierno	Con	-1	110	8	110	8
	<i>C. pallida</i>	Invierno	Sin	-10	115	10	105	9
	<i>C. pallida</i>	Primavera	Con	-12	120	8	108	9
	<i>C. pallida</i>	Primavera	Sin	-19	128	9	108	8
	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	Con	8	78	3	86	6
	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	Sin	8	77	3	85	5
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	Con	17	101	3	118	6
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	Sin	20	94	3	115	6
	<i>P. texana</i>	Invierno	Con	7	100	13	107	9
	<i>P. texana</i>	Invierno	Sin	6	94	11	100	8
	<i>P. texana</i>	Primavera	Con	7	85	11	92	8
	<i>P. texana</i>	Primavera	Sin	4	87	8	91	8
	<i>A. amentacea</i>	Invierno	Con	32	64	6	96	7
	<i>A. amentacea</i>	Invierno	Sin	23	61	3	83	6
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	Con	9	75	7	85	7
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	Sin	10	41	6	51	5
2	<i>C. pallida</i>	Invierno	Con	-4	93	9	89	8
	<i>C. pallida</i>	Invierno	Sin	-11	104	11	93	7
	<i>C. pallida</i>	Primavera	Con	-17	143	7	127	9
	<i>C. pallida</i>	Primavera	Sin	-19	146	8	126	9
	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	Con	25	94	4	120	7
	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	Sin	26	94	4	119	7
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	Con	17	103	3	119	6
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	Sin	15	100	3	114	6
	<i>P. texana</i>	Invierno	Con	20	93	13	113	9
	<i>P. texana</i>	Invierno	Sin	17	91	10	107	8
	<i>P. texana</i>	Primavera	Con	5	82	7	88	7
	<i>P. texana</i>	Primavera	Sin	9	72	5	81	7
	<i>A. amentacea</i>	Invierno	Con	20	72	7	91	7
	<i>A. amentacea</i>	Invierno	Sin	14	58	4	71	6
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	Con	18	71	6	89	7
	<i>A. amentacea</i>	Primavera	Sin	16	53	4	69	6
	<i>C. pallida</i>	Invierno	Con	-5	105	8	10	8
	<i>C. pallida</i>	Invierno	Sin	-4	107	7	104	8
	<i>C. pallida</i>	Primavera	Con	-16	123	8	106	8
	<i>C. pallida</i>	Primavera	Sin	-18	121	7	107	8
3	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	Con	3	89	2	92	5
	<i>F. angustifolia</i>	Invierno	Sin	2	84	2	86	5
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	Con	1	97	3	98	5
	<i>F. angustifolia</i>	Primavera	Sin	0	87	2	87	5
	<i>P. texana</i>	Invierno	Con	7	100	12	107	9
	<i>P. texana</i>	Invierno	Sin	11	88	10	99	8
	<i>P. texana</i>	Primavera	Con	3	98	11	101	8
	<i>P. texana</i>	Primavera	Sin	5	90	9	95	8
			Con	7	94	7	101	7
			EEM	0.3	0.3	0.1	0.3	0.01
			Sin	5	87	6	92	6
			EEM	0.3	0.4	0.1	0.4	0.01

a = gas producido en la fracción rápidamente fermentable; b = gas producido de la fracción insoluble pero fermentable; c = tasa constante de fermentación; a + b = producción de gas potencial; Sitio 1 = China; Sitio 2 = Linares; Sitio 3 = Ramones; PEG = polietilén glicol 6000; EEM = error estándar de la media..

a = gas produced from the soluble and instantly fermentable feed fraction; b = gas produced from the insoluble but fermentable fraction; c = constant rate of gas production and a + b = potential gas production; Site 1 = China; Site 2 = Linares; Site 3 = Ramones; PEG = polyethylene glycol 6000; SEM = standard error of the mean.

bién fueron significativas (Cuadro 2). La fracción **c** en *A. amentacea*, en todos los sitios, aumentó 75 % debido al tratamiento con PEG. Resultados similares se registraron en las muestras tomadas en invierno y primavera. Con respecto a *P. texana*, en todos los sitios, la fracción **c** aumentó un 22 %. Se encontraron valores similares en invierno y primavera. Sin embargo, en *C. pallida* o *F. angustifolia* la tasa de producción de gas no fue afectada debido al tratamiento con PEG (Cuadro 3). Los coeficientes de correlación entre los valores de la fracción **c** y composición química siguieron un mismo comportamiento que los de las fracciones **a** o **b**.

Se registraron incrementos significativos entre sitios, especies y estaciones en la producción potencial de gas (**a + b**) con la presencia de PEG. Las interacciones doble y la triple también fueron significantes (Cuadro 2). Particularmente, *A. amentacea*, en todos los sitios, fue mayor en un 36 %. Los incrementos en invierno y primavera fueron 26 y 49 %, respectivamente. *Parkinsonia texana*, en todos los sitios tuvo los valores más altos (6 %). Porcentajes similares se registraron en invierno y primavera. Como era de esperarse, la fracción **a + b** en *C. pallida* o *F. angustifolia* no fue afectada por el tratamiento con PEG (Cuadro 3). Los coeficientes de correlación entre los valores de la fracción **a + b** y los de la composición química siguieron un mismo comportamiento que los de las fracciones **a**, **b** o **c**.

Los compuestos secundarios de las plantas como LDA o TC afectan la fermentación ruminal (Salem, 2005). En este estudio, la alta fermentación en *C. pallida* podría deberse al bajo contenido de LDA o TC, aun cuando existe variación comparada con *F. angustifolia* que resultó con baja fermentación *in vitro* y bajo contenido de LDA y TC; esta respuesta pudo deberse a diferencias en las características genéticas de las plantas relativas al tipo de actividad en la digestibilidad de los compuestos secundarios (Muetzel y Becker, 2006; Narvaez *et al.*, 2010).

*Acacia amentacea* y *P. texana*, que tuvieron los mayores contenidos de TC (Cuadro 1), resultaron con los mayores aumentos en los parámetros de producción de gas *in vitro*, cuando se agregó PEG. El incremento en los parámetros de producción de gas *in vitro* debido de la adición de PEG, fortalece los resultados obtenidos en previas investigaciones, resaltando la afinidad del PEG para neutralizar los TC (Khazaal *et al.*, 1996) y la efectividad de la técnica para detectar la presencia de compuestos secundarios en las plantas arbustivas, como los TC (Ammar *et al.*, 2004).

Existen reportes de resultados similares a los encontrados en este estudio (Alipour y Rouzbahani, 2007). Estos autores observaron incrementos en los parámetros de producción de gas (**a**, **b** y **a + b**) con la adición de

fermentative kinetics of this fraction (**b**) in *C. pallida* and *F. angustifolia* was unaffected by PEG treatment (Table 3). Correlation coefficients between fraction **b** and chemical components of native shrub with or without PEG treatment followed the same pattern as in fraction **a**.

PEG treatment significantly increased the constant rate of gas production (**c**) between sites, plants and seasons. Double and triple interactions were significantly different as well (Table 2). The constant rate in *A. amentacea*, in all sites, increased 75 % due to the PEG treatment. Similar results were observed in samples taken during winter and spring. About *P. texana*, in all sites, fraction **c** increased 22 %. Similar values were obtained in winter and spring samples. Nonetheless, fraction **c** in *C. pallida* and *F. angustifolia* was unaffected by PEG treatment (Table 3). Correlation coefficients between the values of fraction **c** and the chemical components of the plants with or without PEG treatment followed the same pattern as in fractions **a** and **b**.

Significant increments between sites, plants and seasons were obtained from the potential gas production **a + b** in the presence of PEG. Double and triple interactions were also significantly different (Table 2). Particularly, *A. amentacea*, in all sites, was higher by 36 %. Increments for winter and spring were 26 and 49 %, respectively. *Parkinsonia texana*, in all sites, had the highest values (6 %). Similar results were obtained in samples in winter and spring. As expected, the potential gas production **a + b** in *C. pallida* and *F. angustifolia* was unaffected by PEG treatment (Table 3). Correlation coefficients between fraction **a + b** and chemical components of the plants with or without PEG treatment followed the same pattern as in fractions **a**, **b** and **c**.

Secondary compounds such as ADL and CT affect rumen fermentation (Salem, 2005). In the present study, the higher *in vitro* fermentation of *C. pallida* could be due to the low content of ADL and CT; this response could be due to the genetic differences among plants on the type of activity in the secondary compound digestibility (Muetzel and Becker, 2006; Narvaez *et al.*, 2010).

*Acacia amentacea* and *P. texana*, which had the highest levels of CT (Table 1), obtained the highest parameters of *in vitro* gas production after adding PEG, supporting the results obtained in previous studies, emphasizing the affinity of PEG to neutralize tannins (Khazaal *et al.*, 1996), and the effectiveness of the procedure to detect the presence of secondary compounds such as tannins in native species (Ammar *et al.*, 2004).

Similar studies (Alipour and Rouzbahani 2007) show improvements in the kinetics of gas production (i.e., **a**, **b** and **a + b**) by PEG treatment. Furthermore, the positive effect of PEG on *in vitro* gas production of *A. amentacea* and *P. texana* in the present study could

PEG a especies forrajeras nativas. Los efectos positivos del PEG sobre *A. amentacea* o *P. texana* podrían indicar incrementos en la disponibilidad de nutrientes y, por tanto, una mayor actividad microbiana en el rumen del venado cola blanca consumiendo estas arbustivas forrajeras (Rubanza *et al.*, 2003; Motubatse *et al.*, 2008). Además, las correlaciones positivas entre los TC y los parámetros de producción de gas *in vitro* y el mejoramiento generalizado en la fermentación de *A. amentacea* o *P. texana* debido a la adición de PEG, ciertamente refleja la desactivación de los TC (Makkar, 2005; Salem, 2005; Salem *et al.*, 2007).

Debido al tratamiento con PEG a las plantas arbustivas, se registraron incrementos en los valores de EM entre sitios, especies y estaciones, y las interacciones dobles y la triple también fueron significativas (Cuadro 2). *Acacia amentacea*, en todos los sitios, registró un aumento de 29 %. Los aumentos en esta especie durante invierno y primavera fueron 25 % y 33 %, respectivamente. Asimismo, *P. texana*, en todos los sitios, tuvo un 17 % más EM debido al tratamiento con PEG. Incrementos similares se observaron en invierno y primavera. Sin embargo, el contenido de EM en *C. pallida* o *F. angustifolia* no fue afectado por el uso del PEG (Cuadro 3). Se ha reportado (Khanum *et al.*, 2007) que bajos valores de EM, como los observados en *A. amentacea* o *P. texana*, se presentan cuando la PC es baja y FDN es alta. En este estudio, sin embargo, de acuerdo con los altos valores de EM (alrededor de 8 MJ/kg) en *C. pallida* o *F. angustifolia*, estas especies podrían considerarse como buenas fuentes de energía al compararlas con el valor promedio de EM (9 MJ/kg) de diferentes variedades de heno de alfalfa (Kamalak *et al.*, 2005).

La baja fermentación en *A. amentacea*, sin PEG y con alto contenido de TC, probablemente refleja los efectos adversos de los TC en los microorganismos ruminales (McSweeney *et al.*, 2005) e intestinales. Sin embargo, la dieta del venado cola blanca en libre pastoreo, en el noreste de México, está compuesta por alrededor del 50 % de *A. amentacea* y 8 % *P. texana* (Ramirez-Lozano, 2004), lo que podría indicar que el venado ha desarrollado mecanismos de defensa en contra de los TC. Aparentemente, el venado cola blanca tiene proteínas salivales con alto contenido del aminoácido prolina que interactúa con los TC contenidos en las plantas forrajeras nativas (Motubatse *et al.*, 2008).

### CONCLUSIÓN

Los elevados valores de PC, EM y los parámetros de producción *in vitro*, aunados a los bajos contenidos de fibra en *C. pallida* o *P. texana* podrían indicar que estas especies representan un importante potencial alimenticio para rumiantes domésticos (cabras y borregos) y silvestres (venado cola blanca). El mejoramiento

indica mejoramientos en la disponibilidad de nutrientes y, por tanto, una mayor actividad microbiana en el rumen de ciervos cola blanca consumiendo estas arbustivas forrajeras (Rubanza *et al.*, 2003; Motubatse *et al.*, 2008). Además, la correlación positiva entre los TC y los parámetros de producción de gas *in vitro* y el mejoramiento generalizado en la fermentación de *A. amentacea* o *P. texana* debido a la adición de PEG, ciertamente refleja la desactivación de los TC condensados (Makkar, 2005; Salem *et al.*, 2007).

Incrementos en valores de ME fueron observados debido a un tratamiento con PEG a plantas nativas entre sitios, plantas y estaciones. Efectos de interacción doble y triple fueron también diferentes (Tabla 2). *A. amentacea*, en todos los sitios, obtuvo un incremento de 29 % ME debido al tratamiento con PEG. Durante el invierno y la primavera, los incrementos para esta variable fueron 25 % y 33 %, respectivamente. El uso de PEG en muestras de *P. texana*, en todos los sitios, produjo un 17 % más ME. Incrementos similares (8 %) fueron observados en muestras tomadas en invierno y primavera. Sin embargo, el ME en *C. pallida* y *F. angustifolia* no fue afectado por el tratamiento con PEG (Tabla 3). En general, bajos valores de ME fueron observados en muestras con bajos valores de proteína y altos valores de fibra. Sin embargo, de acuerdo con los altos valores de ME (alrededor de 8 MJ/kg) en *C. pallida* o *F. angustifolia*, estas especies podrían considerarse como buenas fuentes de energía al compararlas con el valor promedio de ME (9 MJ/kg) de diferentes variedades de heno de alfalfa (Kamalak *et al.*, 2005).

La baja fermentación en *A. amentacea* sin PEG y con alto contenido de TC, probablemente refleja los efectos adversos de los TC en el rumen (McSweeney *et al.*, 2005) y el organismo bacteriano (Salem, 2005). Sin embargo, la dieta de ciervos cola blanca en libre pastoreo, en el noreste de México, está compuesta por alrededor del 50 % de *A. amentacea* y 8 % *P. texana* (Ramirez-Lozano, 2004), lo que podría indicar que el venado ha desarrollado mecanismos de defensa en contra de los TC. Aparentemente, el venado cola blanca tiene proteínas salivales con alto contenido del aminoácido prolina que interactúa con los TC contenidos en las plantas forrajeras nativas (Motubatse *et al.*, 2008).

### CONCLUSIONES

Valores altos de CP, ME y parámetros de producción *in vitro*, y bajos contenidos de fibra en *C. pallida* y *P. texana* podrían indicar que estas especies representan un importante potencial alimenticio para rumiantes domésticos (cabras y borregos) y silvestres (venado cola blanca). El mejoramiento indica mejoramientos en la disponibilidad de nutrientes y, por tanto, una mayor actividad microbiana en el rumen de ciervos cola blanca consumiendo estas arbustivas forrajeras (Rubanza *et al.*, 2003; Motubatse *et al.*, 2008). Además, la correlación positiva entre los TC y los parámetros de producción de gas *in vitro* y el mejoramiento generalizado en la fermentación de *A. amentacea* o *P. texana* debido a la adición de PEG, ciertamente refleja la desactivación de los TC condensados (Makkar, 2005; Salem *et al.*, 2007).

to de los parámetros de producción de gas y la EM en las muestras de *A. amentacea* o *P. texana* tratadas con PEG enfatiza el efecto negativo de los TC en el valor nutritivo de los forrajes. Además, las correlaciones negativas entre los componentes de la pared celular, TC y los parámetros de producción de gas *in vitro*, sin PEG, demuestran los efectos negativos que tales compuestos ejercen sobre los procesos de fermentación ruminal.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece la invaluable asistencia proporcionada por Elsa Dolores Serna, Manuel Hernández Charles, Juan Manuel Hernández López y Joel Bravo Garza. Especialmente se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por proporcionar la beca de doctorado a Tilo Gustavo Domínguez Gómez.

#### LITERATURA CITADA

- ALIPOUR, D.; ROUZBEHANI, Y. 2007. Effects of ensiling grape pomace and addition of polyethylene glycol on *in vitro* gas production and microbial biomass yield. *Animal Feed Science and Technology* 137: 138-149.
- AMMAR, H.; LÓPEZ, S.; GONZÁLEZ, J. S.; RANILLA, M. J. 2004. Chemical composition and *in vitro* digestibility of some Spanish browse plant species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 197-204.
- AMMAR, H.; LÓPEZ, S.; GONZÁLEZ, J. S. 2005. Assessment of the digestibility of some Mediterranean shrubs by *in vitro* techniques. *Animal Feed Science and Technology* 119: 323-331.
- AOAC, 1997. Oficial Methods of Analysis. Vol II 16th Edition. Association of Official Analytical Chemists International. Gaithersburg, Maryland. 24-32 pp.
- EVERITT, J. H.; DRAWE, D. L.; LONARD, R. I. 2002. Trees, Shrubs and Cacti of South Texas. Texas Tech University Press, Lubbock, Texas, USA. 12-24 pp.
- GETACHEW, G.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. 2000. Effect of polyethylene glycol on *in vitro* degradability of nitrogen and microbial protein synthesis from tannin-rich browse and herbaceous legumes. *British Journal of Nutrition* 84: 73-83.
- GETACHEW, G.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. 2002. Tropical browses: contents of phenolic compounds, *in vitro* gas production and stoichiometric relationship between short chain fatty acid and *in vitro* gas production. *Journal of Agricultural Science* 139: 341-352.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; CANTÚ-SILVA, I.; GÓMEZ-MEZA, M. V.; RAMÍREZ-LOZANO, R. G. 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 58: 483-503.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; RAMÍREZ-LOZANO, R. G.; CANTÚ-SILVA, I.; GÓMEZ-MEZA, M. V.; UVALLE-SAUCEDA, J. I. 2010. Composición y estructura de

#### ACKNOWLEDGMENTS

To Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). And to Elsa Dolores Serna, Manuel Hernández Charles, Juan Manuel Hernández López, and Joel Bravo Garza for their collaboration.

*End of English Version*

la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica* 29: 91-106.

- KAMALAK, A.; CANBOLAT, O.; EROL, A.; KILINK, C.; KIZILSIMSEK, M.; OZKAN, C.O.; OZKOSE, E. 2005. Effect of variety on chemical composition, *in vitro* gas production, metabolizable energy and organic matter digestibility of alfalfa hays. *Livestock Research for Rural Development* 17: 7-14.
- KHANUM, S. A.; YAQOOB, T.; SADAF, S.; HUSSAIN, M.; JABBAR, M. A.; HUSSAIN, H. N.; KAUSAR, R.; REHMAN, S. 2007. Nutritional evaluation of various feedstuffs for livestock production using *in vitro* gas method. *Pakistani Veterinary Journal* 27: 129-133.
- KHAZAAL, K.; PARISSI, Z.; TSIOUVARAS, C.; NASTIS, A.; ØRSKOV, E. R. 1996. Assessment of phenolic-related antinutritive levels using *in vitro* gas production technique: a comparison between different types of polyvinyl polypyrrolidone or polyethylene glycol. *Journal of Science Food and Agriculture* 71: 405-414.
- LIU, J.X.; YAN, Y.; YAO, J.; SUSENBETH, A. 2000. The use of *in vitro* gas production to reflect associate effects in feeding trials. In: *Proc. 51st Annual Meeting of the Europe Association of Animal Production*, The Hague, The Netherlands 153 p.
- MAKKAR, H. P. S., 2005. *In vitro* gas methods for evaluation of feeds containing phytochemicals. *Animal Feed Science and Technology* 123-124, 291-302.
- MENKE, K. H.; STEINGASS, H., 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* 28: 7-55.
- McSWEENEY, C. S.; GOUGH, J.; CONLAN, L. L.; HEGARTY, M. B.; PALMER, B.; KRAUSE, D. O. 2005. Nutritive value assessment of the tropical shrub legume *Acacia angustissima*: anti-nutritional compounds and *in vitro* digestibility. *Animal Feed Science Technology* 121: 175-190.
- MONTGOMERY, D. C. 2004. *Diseño y Análisis de Experimentos*. México, D. F. Limusa Wiley (2ª Ed). México 75-81 pp.
- MOTUBATSE, M. R.; NG'AMBI, J. W.; NORRIS, D.; MALATJE, M. M. 2008. Effect of polyethylene glycol 4000 supplementation on the performance of indigenous Pedi goats fed different levels of *Acacia nilotica* leaf meal and ad libitum Buffalo grass hay. *Tropical Animal Health*



- Production 40: 229-238.
- MUETZEL, S.; BECKER, K. 2006. Extractability and biological activity of tannins from various tree leaves determined by chemical and biological assays as affected by drying procedure. *Animal Feed Science Technology* 125: 139-149.
- NARVAEZ, N.; BROSH, A.; PITTROFF, W. 2010. Seasonal dynamics of nutritional quality of California chaparral species. *Animal Feed Science and Technology* 158: 44-56.
- NHERERA, F. V.; NDLOVU, L. R.; DZOWELA, B. H. R. 1999. Relationships between *in vitro* gas production characteristics, chemical composition and *in vivo* quality measures in goats fed fodder supplements. *Small Ruminant Research* 31: 117-126.
- ØRSKOV, E. R.; MCDONALD, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science* 92: 499-503.
- PEREVOLOTSKY, A.; LANDAU, S.; SLANIKOVE N.; PROVENZA, F. 2006. Upgrading tannin-rich forages by supplementing ruminants with Polyethylene Glycol (PEG). BSAS Publication 34. The assessment of intake, digestibility and the roles of secondary compounds. Edited by C.A. Sandoval-Castro, F.D.DeB.D. Hovell, J.F.J. Torres-Acosta and A. Ayala-Burgos. Nottingham University Press 221-234 pp.
- RAMÍREZ, R. G.; NEIRA-MORALES, R. R.; LEDEZMA-TORRES, R. A.; GARIBALDI-GONZÁLEZ, C. A. 2000. Ruminal digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 36: 49-55
- RAMÍREZ-LOZANO, R. G. 2004. Nutrición del Venado Cola Blanca. Editorial Publicaciones Universidad Autónoma de Nuevo León 56-88 pp.
- RAMÍREZ-LOZANO, R. G. 2009. Nutrición de Rumiantes: Sistemas Extensivos. 2ª Ed. Editorial Trillas. México. 216-224 pp.
- RUBANZA, C. D. K.; SHEM, M. N.; OTSYINA, R.; ICHINOHE, T.; FUJIHARA, T. 2003. Nutritive evaluation of some browse tree legume foliages native to semi-arid area in western Tanzania. *Asian Australian Journal of Animal Science* 16: 1429-1437.
- SALEM, A. Z. M. 2005. Impact of season of harvest on *in vitro* gas production and dry matter degradability of *Acacia saligna* leaves with inoculum from three ruminant species. *Animal Feed Science Technology* 123-124: 67-79.
- SALEM, A. Z. M.; ROBINSON, P. H.; EL-ADAWYA, M. M.; HASSAN, A. A. 2007. *In vitro* fermentation and microbial protein synthesis of some browse tree leaves with or without addition of polyethylene glycol *Animal Feed Science and Technology*. 138: 318-330.
- SCHWARTZ, C. C.; RENECKER, L. A. 1998. Nutrition and energetics. *In: Ecology and Management of Northamerican Moose*. FRANZMANN, A.W. and SCWARTZ, C.C. (eds.) Smithsonian Institution, Press, Eashington, DC pp. 441-478.
- SPSS. 2004. The Statistical Package for the Social Sciences. Chicago, 13: SPSS Inc.
- SPP-INEGI.1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. México, D.F.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. 1991. Methods for dietary, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597 pp.
- VAN SOEST, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2<sup>nd</sup> ed. Ithaca, New York, US: Comstock Publishing Associates and Cornell University Press, USA p. 176.
- WAGHORN, G. 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-progress and challenges. *Animal Feed Science Technology* 147: 116-122.