

Producción de gas *in vitro* y cinética de degradación de harina de forraje de morera (*Morus alba*) mezclada con maíz

P. E. Lara, María C. Canché, H. Magaña, E. Aguilar y J. R. Sanginés

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Conkal, km. 16.3, Antigua

Carretera Mérida- Motul, Conkal, Yucatán, México

Correo electrónico: plara@prodigy.net.mx

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de maíz al follaje de *M. alba* en la degradabilidad y cinética de producción de gas *in vitro*. Se evaluó la producción de gas *in vitro* de diez mezclas de los componentes de morera con maíz molido, según un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos (3 x 3 + 1). El tipo de forraje y el nivel de maíz incluido fueron los factores evaluados. Se colocaron 250 ± 10 mg de muestra en 40 viales de cristal (n=4), con capacidad de 100 mL y se utilizaron cuatro viales como blanco, incubadas a 39 °C. Se registraron las lecturas de presión y volumen de gas a 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60, y 72 h. La cinética de la producción de gas se evaluó mediante el modelo Gompertz. El volumen máximo de gas (A) fue más elevado para el maíz (P < 0.05) y mayor para la hoja que para la planta completa y el tallo tierno (73.19, 57.73, 38.78 y 36.92, respectivamente). La adición de maíz a los componentes de morera incrementó A y en la mayoría de los sustratos ocasionó un efecto aditivo. La producción de gas a partir de la degradación del maíz se incrementó de las 12 h de incubación en adelante. El máximo se alcanzó entre 16 y 20 h, mientras que en la hoja de morera se observaron dos picos: uno en las primeras horas, y otro a las 20 h post-incubación. La degradabilidad en todos los componentes de morera se incrementó al adicionar maíz a la mezcla. La inclusión de maíz mejora los parámetros de degradación *in vitro* de los componentes de morera.

Palabras clave: *Morus alba*, producción de gas, mezclas forraje maíz, degradabilidad *in vitro*, materia seca, materia orgánica.

El bajo valor nutritivo de las gramíneas forrajeras en las regiones tropicales y subtropicales representa una limitación en la productividad de los rumiantes en pastoreo, debido al elevado contenido de paredes celulares (> 700 g/kg de MS) y a la baja concentración de proteína bruta (< 70 g/kg de MS). Estas variables afectan la digestibilidad y el consumo voluntario, ya que existe un desbalance en la materia orgánica fermentable y el contenido de nitrógeno disponible para los microorganismos ruminales (Nocek y Russell 1988). Esto se debe a que la síntesis de proteína microbiana depende del aporte de cantidades adecuadas de proteína degradable como del tipo de carbohidrato presente en la dieta (Hristov y Ropp 2003). Se conoce que los carbohidratos fácilmente fermentables son efectivos para promover el crecimiento microbiano de las paredes celulares (Bach *et al.* 2005).

En estas condiciones, la producción de carne en rumiantes se ve afectada, por lo que se utilizan como alternativa los suplementos basados en granos o plantas con potencial forrajero. Por ejemplo, Pacheco *et al.* (2002) al complementar la dieta de ovinos (2 % del peso corporal) que consumían forraje de pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* var. 144) con un concentrado basado en granos con 18 % de PB informaron una ganancia de 133 g/d, mientras que para los ovinos que recibieron follaje de morera más pasto Taiwán (75 % de la MS) ganancias fueron de 174 g/d, lo que demuestra el potencial de la morera para mejorar la productividad de los rumiantes en las regiones tropicales. Esto obedece a la elevada digestibilidad *in vitro* (75 a 90 %) y al excelente nivel de proteína (15 a 25 %) de sus hojas, mientras que el tallo no lignificado (tallo tierno) contiene

entre 7 y 14 % de PB y digestibilidad *in vitro* entre 56 y 70 % (Benavides 1996).

El uso de morera en la alimentación de rumiantes puede ser en forma fresca (Ojeda *et al.* 2003 y Ríos *et al.* 2005), ensilada (González *et al.* 1996) o en forma de harina (Mata *et al.* 2006), por lo que si se incluyen en la dieta carbohidratos rápidamente fermentables (Tóthi 2003) posiblemente ocurra mejor sincronía en los aportes de energía (ATP) y nitrógeno (amoníaco) para los microorganismos ruminales. Esto se debe a que la tasa de fermentación de los carbohidratos de las plantas con relación a la tasa de degradación de la proteína en el rumen es lo que determina, principalmente, la producción de proteína microbiana (NRC 2007). El objetivo de este estudio fue evaluar la cinética de producción de gas *in vitro* del forraje de *M. alba* adicionado con diferentes niveles de maíz.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en los laboratorios del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. Se utilizó follaje de morera de 90 d de rebrote, cosechado en las parcelas experimentales abonadas con residuales porcinos. Para ello se utilizó el equivalente a 600 kg de N/ha al año. Una vez cosechada la morera, se separaron los componentes en hoja, tallo tierno (tallo) y planta completa (planta), los cuales se secaron en una estufa de aire forzado a 60° C, al menos 48 h. Posteriormente, se molieron utilizando una malla de 1 mm. Las muestras secas y molidas se utilizaron para el análisis químico e incubación *in vitro*. La composición química de los ingredientes utilizados, así como las mezclas evaluadas para medir la producción de gas se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de los ingredientes utilizados así como las mezclas evaluadas para medir la producción de gas *in vitro*.

Proporción de ingredientes (%)				Concentración en g kg MS ⁻¹					CNF
Maíz	Planta	Hoja	Tallo	MO	PB	FDN	FDA	EE	
100	0	0	0	987	96	85	30	53	753
66	4	0	0	893	95	503	156	43	252
33	67	0	0	868	96	529	276	39	204
0	100	0	0	844	102	563	415	33	146
66	0	34	0	875	124	123	74	45	583
33	0	67	0	833	158	136	126	36	503
0	0	100	0	791	194	227	189	30	340
66	0	0	34	903	84	527	204	63	229
33	0	0	67	888	69	576	397	44	199
0	0	0	100	874	60	775	573	27	12

Planta = Planta completa de morera; Hoja = Hoja de morera; Tallo = Tallo tierno de morera CNF = Carbohidratos no fibrosos (1000-[cenizas+PB+FDN+EE])

Análisis químico. Todos los ingredientes se analizaron para determinar materia seca (MS), nitrógeno total (N), cenizas (C), extracto etéreo (EE), fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD). La MS se determinó mediante secado en una estufa a 105 °C durante 16 h. El contenido de C se determinó por incineración a 550 °C durante 6 h. El N total se determinó mediante la técnica de micro Kjeldahl (AOAC 2000). El EE se evaluó con un aparato de Soxhlet, mediante el reflujó de éter de petróleo durante 4 h. La FDN y FDA se determinaron de acuerdo con la técnica de van Soest *et al.* (1991), usando un analizador de fibra Ankom 2000®.

Medición de gas *in vitro*. Se evaluaron diez mezclas de los componentes de morera con maíz molido para determinar la cinética de la producción de gas *in vitro* de acuerdo con la técnica propuesta por Menke *et al.* (1979). El medio de cultivo se preparó de acuerdo con las indicaciones de Menke y Steingass (1988). Las mezclas se distribuyeron según diseño completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos (3 x 3 + 1). Los factores analizados fueron el componente (hoja, tallo, planta completa), la proporción de maíz molido en la mezcla (0, 33 y 67 %), más un control de 100 % de maíz en grano molido. Se colocaron 250 ± 10 mg de muestra en 40 viales de cristal (n=4), con capacidad de 100 mL (Theodorou *et al.* 1993), sellados con un tapón de hule. Se utilizaron además, cuatro viales como blanco (únicamente con líquido ruminal) para corregir la producción de gas.

El inóculo procedió de una vaca con cánula en el rumen, la cual se mantuvo en pastoreo diurno en una pradera de *Cynodon nlemfuensis* con 30 d de rebrote, suplementada con 1.5 kg de una mezcla sorgo-soya (15 % de PC). El fluido ruminal se recolectó a las 08:30 h antes del pastoreo, con una dieta previa de 14 h. El fluido recolectado se mantuvo en un termo a 39 °C hasta que se trasladó al laboratorio donde se filtró a través de cuatro capas de tela gasa, con la finalidad de obtener únicamente la fracción líquida, la cual se saturó con dióxido de carbono

(CO₂). Una vez preparados los viales, se introdujeron dos agujas hipodérmicas a través del tapón. Una se utilizó para introducir el fluido ruminal (6 mL) y la otra, para permitir la salida del gas durante el proceso de llenado, con 30 mL del medio de cultivo. Este consistió en 10 mL de fluido ruminal y 20 mL de la solución buffer (Menke y Steingass 1988). Posteriormente, se retiraron las agujas, se agitaron las mezclas y se consideró como tiempo cero. Estas se incubaron en una estufa bacteriológica a 39 °C y se registraron las lecturas de presión y volumen de gas a 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 h.

El volumen de gas generado (mL/g de MS y MO incubada) se midió de acuerdo con el procedimiento propuesto por Theodorou *et al.* (1993). Para medir los cambios de presión se utilizó un transductor de presión (DPI 701 555 in H₂O/20 Psi g). La cinética de la producción de gas se evaluó mediante el modelo Gompertz (Beuvinck y Kogut 1993):

$$Y=A \exp \{-\exp[1 + be/A (LAG-t)]\}$$

Donde:

Y = Producción total de gas acumulada (mL)

A = Producción teórica máxima de gas (mL)

b = Máxima tasa de producción de gas (mL/h), que se presenta en el punto de inflexión de la curva

LAG = Tiempo lag (h), definido como el intercepto del eje-tiempo de la línea de la tangente en el punto de inflexión

t = tiempo

Los parámetros A, b, y LAG se estimaron mediante un análisis de regresión no lineal, para lo que se utilizó el programa Origin 8. Estos parámetros se usaron para evaluar la cinética de la producción de gas *in vitro*.

Los efectos del tratamiento y tiempo de incubación en la producción de gas fueron analizados mediante el procedimiento para modelos mixtos de SAS (1985), de acuerdo con el modelo:

$$PG_{ijk} = \mu + \text{Trat}_i + \text{Tiempo}_j + (\text{Trat} \times \text{Tiempo})_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

PG_{ijk} = volumen de gas observado

μ = media general

Trat_i = efecto del tratamiento i

$I = \text{Tiempo}_j$ el efecto del tiempo de incubación j ;

$(\text{Trat} \times \text{Tiempo})_{ij}$ el efecto de la interacción entre el tratamiento i .

Los volúmenes acumulados de gas producidos después de 12, 24, 48 y 72 h fueron utilizados para encontrar posibles efectos asociativos de los ingredientes. Estos efectos se asumieron al ser significativos ($P < 0.05$), cuando la producción de gas calculada para la mezcla de acuerdo con sus proporciones quedó fuera del 95 % del intervalo de confianza para la producción de gas.

La degradabilidad *in vitro* de la materia seca (%) y materia orgánica (%) se estimó mediante la filtración del residuo en crisoles Gooch, el secado de las muestras se efectuó en una estufa de convección a 105 °C durante 24 h, y la incineración en una mufla a 550 °C durante 6 h. La degradabilidad efectiva (DE) se estimó utilizando

la siguiente fórmula $DE = a + (b \cdot c)/(c+k)$, considerando una tasa de pasaje de sólidos en el rumen (k) de 0.02, 0.04, 0.06 y 0.08 h.

Los datos de degradabilidad se analizaron mediante el PROC GLM del SAS (1985) para computadoras personales y la separación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey (Steel y Torrie 1988).

Resultados y Discusión

Características de la composición química y producción de gas de los ingredientes individuales.

Las curvas de producción de gas del maíz, planta completa, hoja y tallo tierno de morera obtenidas mediante la función de Gompertz se presentan en la figura 1.

Los parámetros de la función de Gompertz se presentan en la tabla 2.

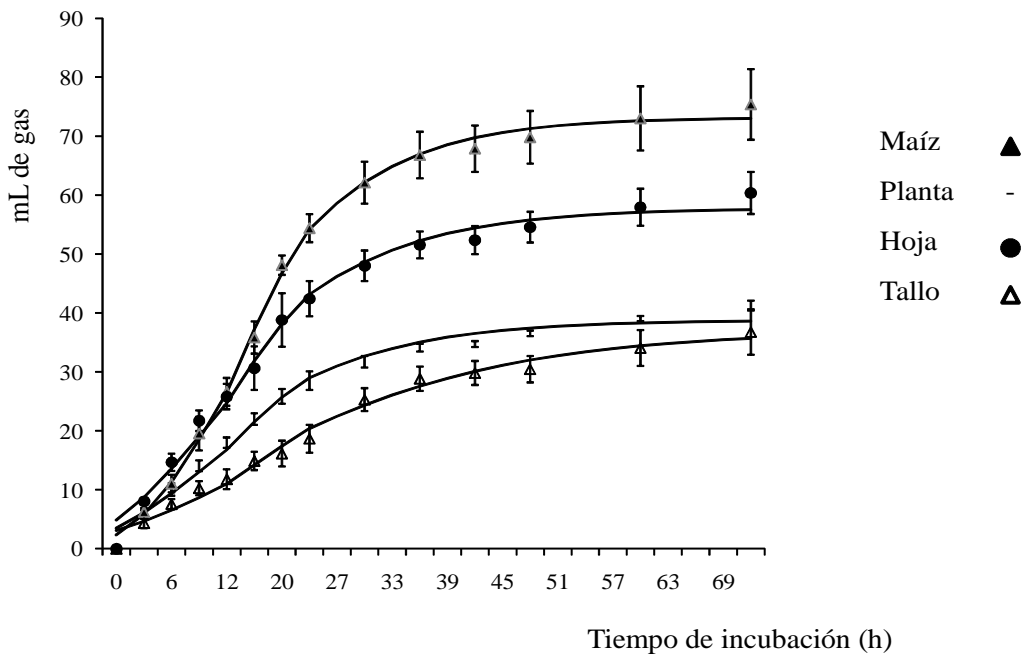


Figura 1. Producción de gas *in vitro* de los ingredientes individuales y la dinámica de producción descrita mediante la función de Gompertz.

Tabla 2. Valores medios de la producción acumulada de gas producida a diferentes tiempos de incubación para los ingredientes individuales y los promedios de la producción de gas *in vitro* estimados con la función de Gompertz.

Ingrediente	Producción acumulada de gas (mL) a:				Promedios de la función de Gompertz modificada			R ²	P > F
	12 h	24 h	48 h	72 h	A, mL	b, mL/h	Lag, h		
Maíz	26.6 ^a	54.4 ^a	69.8 ^a	75.4 ^a	73.19 ^a	0.101 ^a	12.14 ^b	0.997	<0.0001
Planta	18.0 ^b	28.5 ^c	36.5 ^c	41.2 ^c	38.78 ^c	0.088 ^b	9.98 ^b	0.985	<0.0001
Hoja	25.8 ^a	42.4 ^b	54.6 ^b	60.4 ^b	57.73 ^b	0.089 ^b	10.18 ^b	0.998	<0.0001
Tallo	11.8 ^c	18.7 ^d	30.5 ^c	36.8 ^c	36.92 ^c	0.059 ^c	15.24 ^a	0.983	<0.0001
EE ±	0.81	1.11	1.36	1.85	1.78	0.004	0.61		

Planta = Planta completa de morera; Tallo = Tallo tierno de morera

Literales distintas en la misma columna indican diferencias (Tukey $P < 0.05$)

EE = Error estándar de la media

El volumen máximo de gas (A) fue más elevado para el maíz ($P < 0.05$) y mayor para la hoja que para la planta completa y el tallo tierno. Del mismo modo, la máxima tasa de producción de gas (b) se observó en el maíz ($P < 0.05$), seguida por la hoja de morera y planta completa, siendo menor ($P < 0.05$) la del tallo tierno. El tiempo lag fue mayor en el tallo tierno ($P < 0.05$) con respecto al resto de los ingredientes evaluados.

La producción de gas es una medida indirecta de la degradación de los sustratos, particularmente de los carbohidratos. Además, es un buen estimador para la producción de ácidos grasos de cadena corta (Blümmel *et al.* 1999 y Liu *et al.* 2002). De aquí que la medición de la producción de gas *in vitro* pueda utilizarse para evaluar la

tasa y extensión de la digestión de los ingredientes (Stern *et al.* 1997) y para predecir los valores de energía metabolizable de los ingredientes o de la dieta (Menke y Steingass 1988). No obstante, faltaría evaluar una ecuación para predecir la EM en mezclas de forraje con grano. A pesar de que la concentración de PB de la planta de morera y el maíz fue similar (tabla 1), se observó una gran diferencia en la producción de gas (tabla 2). Sin embargo, al incluir maíz en la mezcla y en consecuencia, incrementar la cantidad de carbohidratos no fibrosos disponibles para los microorganismos, estos influyeron directamente en la producción de gas (tabla 3), mostrando mayor efecto aditivo a las 24 h de incubación, cuando se incluyó al 67 % (tabla 4), donde los valores positivos indican efectos

Tabla 3. Valores medios (n=4) de la producción acumulada de gas producida a diferentes tiempos de incubación cuando los componentes de morera se mezclan con maíz y los promedios de la producción de gas *in vitro* estimados con la función de Gompertz.

Ingrediente	Producción acumulada de gas (mL) a:				Promedios de la función de Gompertz modificada			R ²	P > F
	12 h	24 h	48 h	72 h	A, mL	b, mL/h	Lag, h		
Planta de morera									
Maíz 100%	26.6 ^a	54.4 ^a	69.8 ^a	75.4 ^a	73.19 ^a	0.101 ^a	12.14 ^b	0.997	<0.0001
Maíz 67%	20.68 ^{cd}	48.23 ^b	60.11 ^{bcd}	65.41 ^{bc}	63.47 ^{bc}	0.108 ^a	12.31 ^{bc}	0.997	<0.0001
Maíz 33%	16.55 ^e	32.78 ^d	46.05 ^e	51.20 ^b	50.43 ^b	0.079 ^c	13.44 ^{ab}	0.998	<0.0001
Maíz 0%	18.00 ^{de}	28.53 ^b	36.55 ^f	41.25 ^e	38.78 ^e	0.088 ^{bc}	10.05 ^c	0.985	<0.0001
Hoja de morera									
Maíz 100%	26.63 ^a	54.40 ^a	69.83 ^a	75.40 ^a	73.19 ^a	0.103 ^{ab}	12.10 ^{bc}	0.997	<0.0001
Maíz 67%	22.05 ^{bc}	48.00 ^b	66.01 ^{ab}	73.64 ^{ab}	71.81 ^{ab}	0.086 ^{bc}	13.87 ^{ab}	0.996	<0.0001
Maíz 33%	24.95 ^{ab}	46.75 ^{cd}	62.13 ^{bc}	69.20 ^{abc}	67.03 ^{ab}	0.086 ^{bc}	12.18 ^{bc}	0.994	<0.0001
Maíz 0%	25.83 ^{ab}	42.43 ^c	54.58 ^b	60.38 ^c	57.73 ^{cd}	0.090 ^{abc}	10.22 ^c	0.998	<0.0001
Tallo tierno de morera									
Maíz 100%	26.63 ^a	54.40 ^a	69.83 ^a	75.40 ^a	73.19 ^a	0.103 ^{ab}	12.14 ^b	0.997	<0.0001
Maíz 67%	16.00 ^e	41.65 ^c	58.53 ^{cd}	64.18 ^c	63.42 ^{bc}	0.090 ^{abc}	14.88 ^a	0.995	<0.0001
Maíz 33%	14.63 ^{ef}	32.25 ^b	44.88 ^e	50.65 ^b	49.63 ^b	0.082 ^c	14.06 ^{ab}	0.996	<0.0001
Maíz 0%	11.80 ^f	18.68 ^e	30.48 ^f	36.78 ^e	36.92 ^e	0.060 ^b	15.24 ^a	0.983	<0.0001
EE	0.81	1.11	1.36	1.85	1.75	0.004	0.52		

Literales distintas en la misma columna indican diferencias (Tukey $P < 0.05$) EE = Error estándar de la media

Tabla 4. Diferencias (%) entre la producción de gas observada en las diferentes mezclas de los componentes de la morera con el maíz y la estimación a partir de las fermentación por separado de los componentes.

Maíz y su proporción, %	Periodo de incubación, h			
	12	24	48	72
Planta de morera				
Maíz 67 %	-3.10	2.36	1.27	1.52
Maíz 33 %	-4.30	-4.29	-1.48	1.13
Hoja de morera				
Maíz 67 %	-4.31	-2.45	1.22	3.20
Maíz 33 %	-1.14	0.37	2.52	3.87
Tallo de morera				
Maíz 67 %	-5.73	-0.96	1.69	1.28
Maíz 33 %	-2.07	1.79	1.41	-1.32

^aDiferencia (%) = [(Producción de gas observada - producción de gas predicha) / producción de gas predicha] x 100

asociativos (Liu *et al.* 2002), mientras que los negativos podrían indicar efectos antagónicos o sustitutivos.

La producción acumulada de gas a las 72 h en los componentes de morera adicionados con diferentes niveles de maíz mostró en la mayoría de los sustratos un efecto aditivo (tabla 4). Este fue mayor en la mezcla maíz - hoja, debido posiblemente a la mayor concentración de materia orgánica fácilmente degradable (Estévez *et al.* 2002), lo que promovió el crecimiento y la actividad microbiana, y ocasionó mayor producción de gas con relación a las mezclas de maíz con la planta completa o el tallo tierno.

Sileshi *et al.* (1996) encontraron que la concentración de FDN y N en la MS presentan una elevada correlación con la desaparición *in situ* de la MS y con los parámetros de producción de gas *in vitro*. Esto se debe a que la producción de gas involucra tanto la fermentación del almidón como de los componentes fibrosos de los sustratos (Lanzas *et al.* 2007). Cerrillo y Juárez (2004) encontraron una correlación negativa entre la producción de gas *in vitro* y la composición química del follaje de árboles nativos y cactus, PB ($r=-0.78$), FDN ($r=-0.73$), FDA ($r=-0.90$) y lignina ($r=-0.96$), con lo que explicaron el 61, 53, 81 y 92 %, de variación de esta variable. Finalmente, la adición de carbohidratos no estructurales de rápida degradación derivados de papa (*Solanum tuberosum*) en heno de pasto kikuyo, con la consecuente reducción de FDN en la mezcla, incrementan la producción de gas (Noguera *et al.* 2006), lo cual concuerda con lo observado en el presente trabajo.

Cinética de producción de gas. En la figura 2 se muestra el volumen de gas producido por los ingredientes en diferentes intervalos de tiempo. Para

el maíz, hubo incremento en la producción de gas a partir de las 12 h, y la máxima producción se produjo entre las 16 y 20 h, mientras que para la hoja de morera se observaron dos picos. El primero ocurrió en las primeras horas de incubación, probablemente por la disponibilidad de los sustratos solubles presentes en el contenido celular de la hoja. El segundo, a las 20 h, y podría estar relacionado con la degradabilidad de la pared celular. El pico de producción de gas para el tallo tierno se presentó entre las 24 y 36 h de incubación. La combinación de ingredientes mostró, en la mayoría de los casos, efectos asociativos (tabla 4), lo que coincide con informes de Kiran y Krishnamourthy (2007), quienes indican que las limitaciones que presentan las características de fermentación de los ingredientes individuales pueden ser subsanadas con las mezclas de los mismos. La mayoría de los datos de la cinética de degradación de los granos se derivan de estudios realizados *in situ*; sin embargo, los parámetros de digestión de la materia seca y del almidón no pueden compararse directamente con las tasas de producción de gas, ya que los estudios *in situ* miden la tasa de digestión para la fracción lentamente degradable, mientras que las tasas de producción de gas se derivan de la degradación de todas las fracciones (Lanzas *et al.* 2007).

Degradabilidad *in vitro* de la MS y MO a 72 h de incubación. La degradabilidad de la MS y MO se presenta en la tabla 5, donde se observa que a medida que se elevó la calidad del forraje de morera mejoró la degradabilidad ($P < 0.05$), obteniéndose valores de 72.87, 82.96 y 96.32 % de DIVMO para tallo tierno, planta completa y hojas, respectivamente. La degradabilidad en todos los componentes de morera mejoró al adicionar maíz a la mezcla.

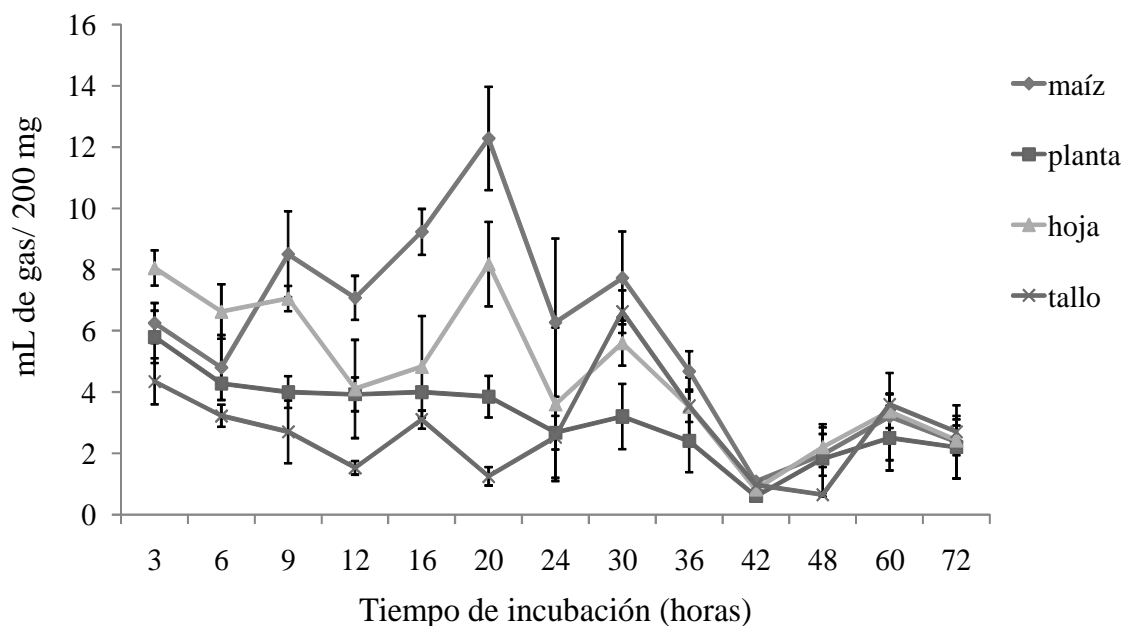


Figura 2. Tasa de producción de gas *in vitro* de los ingredientes calculada a partir del intervalo de tiempo entre mediciones

Tabla 5. Efecto de la mezcla de ingredientes en la producción de gas *in vitro* y la degradabilidad de la materia seca y materia orgánica

Proporción de ingredientes (%)				Volumen de gas		DIVMS(%)	DIVMO(%)
Maíz	Planta	Hoja	Tallo	(mL g ⁻¹ MS)	(mL g ⁻¹ MO)		
100	0.0	0.0	0.0	304.0 ^a	308.0 ^a	95.85 ^a	99.31 ^{ab}
66	34.0	0.0	0.0	263.0 ^{ba}	272.0 ^{abc}	85.88 ^b	97.76 ^{bc}
33	67.0	0.0	0.0	205.0 ^{bc}	217.0 ^{bcd}	74.51 ^c	92.68 ^d
0	100.0	0.0	0.0	140.0 ^d	151.0 ^d	60.45 ^e	82.96 ^f
66	0.0	34.0	0.0	296.0 ^a	312.0 ^a	93.97 ^a	99.36 ^{ab}
33	0.0	67.0	0.0	279.0 ^a	306.0 ^a	92.08 ^a	99.59 ^a
0	0.0	100.0	0.0	244.0 ^{ba}	270.0 ^{ab}	85.87 ^b	96.32 ^c
66	0.0	0.0	34.0	258.0 ^{ba}	264.0 ^{abc}	80.86 ^b	96.95 ^c
33	0.0	0.0	67.0	204.0 ^{bc}	211.0 ^{cd}	65.79 ^d	88.04 ^e
0	0.0	0.0	100.0	148.0 ^{dc}	155.0 ^d	48.24 ^f	72.87 ^g

Literales distintas en la misma columna indican diferencias (P<0.05, Tukey)

DIVMS = degradabilidad *in vitro* de la materia seca

DIVMO = degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica

La degradabilidad del follaje de morera resultó elevada, tal y como lo demuestran los datos de Sánchez (2000), con hojas de morera con valores entre 80.2 y 95 % de degradabilidad *in vitro*. También lo evidencian los resultados de Jiménez *et al.* (1997), con 60.8 % en planta completa, al igual que los informes de Benavides (1996), con valores entre 56 y 70 % en tallo tierno. Al respecto, Narváez y Lascano (2004) mencionan que la FDA fue el constituyente químico que más se asoció con la disminución de la DIVMS ($r = -0.82$) en diversas especies de arbóreas, aún cuando solo explicó 62 % de la variabilidad. De igual modo, la concentración de lignina se relaciona con una disminución en la degradabilidad (Dzowela *et al.* 1995) *in vitro e in situ* de la MS (Ramírez *et al.* 2002).

Los resultados anteriores sugieren que la inclusión de maíz en la degradación *in vitro* de morera mejora los patrones de fermentación al lograr un efecto aditivo en la producción acumulada de gas. Además, incrementa la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la materia orgánica. No obstante, se requiere evaluar la morera con otras fuentes de carbohidratos fácilmente fermentables, con la finalidad de obtener una mejor sincronía en la degradación de los sustratos.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica por el financiamiento de este estudio a través del proyecto «Uso de la morera (*Morus alba*) como alternativa de sustitución de granos en la producción animal».

Referencias

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th Ed. Ass. Off. Anal. Chem. Washington, DC
 Bach, A., Calsamiglia, S. & Stern, M. D. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 88:9

Benavides, J.E. 1996. Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Utilización de la morera en sistemas de producción animal. Conferencia electrónica. Disponible: <<http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/bnvdes12.htm>>. Consultado: 10/11/07
 Beuvink, J.M. & Kogut, J. 1993. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. J. Anim. Sci. 71:1041
 Blümmel, M., Aiple, K.P., Steingar, H. & Becker, K. 1999. A note on the stoichiometrical relationship of short chain fatty acid production and gas formation *in vitro* in feedstuffs of widely differing quality. J. Anim. Physiol. 81: 157
 Cerrillo, M.A. & Juárez. 2004. *In vitro* gas production parameters in cacti and tree species commonly consumed by grazing goats in a semiarid region of North Mexico. Lives. Res. Rural Develop. 16:4
 Dzowela, B.H., Hove, L., Topps, J.H. & Mafongoya, P.L. 1995. Nutritional and anti-nutritional characters and rumen degradability of dry matter and nitrogen for some multipurpose tree species with potential for agroforestry in Zimbabwe. Anim. Feed Sci. Tech. 55: 207
 Estévez, A.O.V., Pedraza, O.R.M., Guevara, V.R.V. & Parra, G.C.E. 2002. Composición química y degradabilidad ruminal del follaje de dos especies de la familia Euphorbiaceae en la época de seca. Rev. Prod. Anim. 14:25
 González, J., Benavides, J., Kass, M., Olivo, R. & Esperance, M. 1996. Evaluación de la calidad nutritiva de la morera (*Morus alba* L.) fresca y ensilada, con bovinos de engorda. Agroforestería en las Américas. 3:20
 Hristov, A.N. & Ropp, J.K. 2003. Effect of dietary carbohydrate composition and availability on utilization of ruminal ammonia nitrogen for milk protein synthesis in dairy cows. J. Dairy Sci. 86:2416
 Jiménez, M., Aguirre, J., Ibrahim, M. & Pezo, D. 1997. Efecto de la suplementación con morera (*Morus alba*) en la ganancia de peso posdestete de terneras de lechería. Agroforestería en las Américas. 5:23
 Kiran, D. & Krishnamourthy, U. 2007. Rumen fermentation and microbial biomass synthesis indices of tropical feedstuffs determined by the *in vitro* gas production technique. Anim. Feed Sci. Tech. 134:170

- Lanzas, C., Fox, D.G. & Pell, A.N. 2007. Digestion kinetics of dried cereal grains. *Anim. Feed Sci. Tech.* 136: 265
- Liu, J.X., Susenbeth, A & Südekum, K.H. 2002. *In vitro* gas production measurements to evaluate interactions between untreated and chemically treated rice straws, grass hay, and mulberry leaves. *J. Anim. Sci.* 80:517
- Mata, E.M.A., Hernández, S.D., Cobos, P.M.A., Ortega, C.ME., Mendoza, M.G.D. & Arcos, G.J.L. 2006. Comportamiento productivo y fermentación ruminal de corderos suplementados con harina de cocoíte (*Gliricidia sepium*), morera (*Morus alba*) y tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis*). *Rev. Científica. FCV-LUZ.* 16:249
- Menke, K.H. & Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Rural Develop.* 28: 7
- Narváez, N. & Lascano, C.E. 2004. Caracterización química de especies arbóreas tropicales con potencial forrajero en Colombia. *Pasturas Tropicales.* 26:1
- Noeck, J.E. & Russell, J.B. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71:2070
- Noguera, R.R., Ramírez, I.C. & Bolívar, D.M. 2006. Efecto de la inclusión de papa (*Solanum tuberosum*) en la cinética de fermentación *in vitro* del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Lives. Res. Rural Develop.* 18:5
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and new world camelids. Washington DC. National Academic Press. 292 p.
- Ojeda, F., Arece, J. & Cáceres, O. 2003. Utilización de los hollejos de cítrico ensilados o deshidratados como suplemento en ovinos en crecimiento alimentados con morera (*Morus alba*). *Pastos y Forrajes.* 26:231
- Pacheco, D., Lara, P.E. & Sanginés, R. 2002. Niveles crecientes de morera (*Morus alba*) en la ración ovinos de engorda. V Taller Internacional sobre la Utilización de los Sistemas Silvopastoriles para la Producción Animal. CD-ROM. Estación Experimental de Pastos y Forrajes «Indio Hatuey»
- Ramírez, O.R., Ramírez, L.R. & López, G.F. 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. *Ciencia UANL.* 5:180
- Ríos, P.L., Rondón, M.Z., Combellas, J.B. & Álvarez, Z.R. 2005. Uso de morera (*Morus sp.*) y mata ratón (*Gliricidia sepium*) como sustitutos del alimento concentrado para corderos en crecimiento. *Zoot. Trop.* 23: 49
- SAS. 1985. User's guide: Statistics. Version 5. 5ta Ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Sánchez, D.M. 2000. Morera: un forraje excepcional disponible mundialmente. Disponible: «<http://www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/SanchezM.htm>». Consultado: 4/11/2007
- Sileshi, Z., Owen, E., Dhanoa, M.S. & Theodorou, M.K. 1996. Prediction of in situ rumen dry matter disappearance of Ethiopian forages from an *in vitro* gas production technique using a pressure transducer, chemical analyses or *in vitro* digestibility. *Anim. Feed Sci. Tech.* 61:73
- Steel, R.G.D. & Torrie, J.H. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill, México. p. 622
- Stern, M.D., Bach, A. & Calsamiglia, S. 1997. Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 75:2256
- Theodorou, M.K., William, B.A., Dhanoa, M.S., McCallan, A.B. & Gill, M. 1993. Estimation of kinetic parameter associated with the digestibility of tropical forages using a new *in vitro* gas production procedure. *Anim. Prod.* Ocasional publication No. 16. British Soc. Anim. Prod. Eds. M. Gill, E. Owen, G.E. Pollot y T.L.J. Lawrence
- Tóthi, R. 2003. Processed grains as a supplement to lactating dairy cows. PhD Thesis. Wageningen Institute, The Netherlands. 231 p.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583

Recibido: 8 de agosto de 2007