

Digestibilidad *in vitro* de dietas con diferentes niveles de inclusión de moringa (*Moringa oleifera*) para corderos en crecimiento

In vitro digestibility of diets with different levels of inclusion of moringa (*Moringa oleifera*) for growing lambs

Jairo Jeú Quintanilla-Medina¹, Daniel López-Aguirre¹, Juan Carlos Martínez-González¹, Andrés Gilberto Limas-Martínez¹, Froylán Andrés Lucero-Magaña¹, Salomón Ruíz-García¹, Javier Hernández-Meléndez^{1,2}

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar diferentes niveles de inclusión de forraje de *Moringa oleifera* L en dietas para corderos en crecimiento sobre la cinética de fermentación ruminal y degradabilidad *in vitro*. Se utilizaron cinco tratamientos, los cuales fueron expresados en g kg⁻¹ MS y consistieron en: control (IM0 = 0), nivel de inclusión bajo (IM10 = 100), niveles de inclusión medios (IM20 = 200 e IM30 = 300) y nivel de inclusión alto (IM40 = 400). No se observó un efecto de los niveles de inclusión de moringa a las 6, 12 y 24 h; sin embargo, a las 48 h el nivel de inclusión IM40 obtuvo el menor valor (116.0 ml g⁻¹). En la producción de gas acumulada a las 48 y 72 h se observó un comportamiento lineal; es decir, a medida que aumenta el nivel de inclusión de *M. oleifera* en la dieta la producción de gas disminuye. Así mismo, se observó que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) fue afectada por el nivel de inclusión de *M. oleifera*, observándose una disminución de la degradabilidad conforme aumenta el nivel de inclusión, donde los niveles de 100 y 200 g kg⁻¹ MS igualaron al valor observado para la dieta testigo (796.3, 794.5 y 810.5 g kg⁻¹ de MS, respectivamente). Utilizar *Moringa oleifera* L a niveles menores al 20% en dietas para corderos en crecimiento representa una alternativa de alimentación para las unidades de producción.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, rumiantes, digestibilidad, alimentación animal, producción de gas

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Adolfo López Mateos, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

² E-mail: javhernan@docentes.uat.edu.mx

Recibido: 8 de octubre de 2019

Aceptado para publicación: 12 de junio de 2020

Publicado: 11 de agosto de 2020

ABSTRACT

The study aimed to evaluate different levels of inclusion of *Moringa oleifera* L forage in diets for growing lambs on the kinetics of ruminal fermentation and *in vitro* degradability. Five treatments were used, expressed in g kg⁻¹ DM and consisted of control (IM0 = 0), low inclusion level (IM10 = 100), medium inclusion levels (IM20 = 200 and IM30 = 300) and high inclusion level (IM40 = 400). No effect of moringa inclusion levels was observed at 6, 12 and 24 h; however, at 48 h the IM40 inclusion level obtained the lowest value (116.0 ml g⁻¹). In the accumulated gas production at 48 and 72 h, a linear pattern was observed, as the level of inclusion of *M. oleifera* in the diet increases, gas production decreases. Likewise, it was observed that the *in vitro* digestibility of dry matter was affected by the level of inclusion of *M. oleifera*, observing a decrease in degradability as the level of inclusion increases, where the levels of 100 and 200 g kg⁻¹ MS equalled the value observed for the control diet (796.3, 794.5 and 810.5 g kg⁻¹ of DM, respectively). Using *Moringa oleifera* L at levels less than 20% in diets for growing lambs represents a feeding alternative for production units.

Key words: *Moringa oleifera*, ruminants, digestibility, animal feed, gas production

INTRODUCCIÓN

Se dispone de diversos métodos para evaluar el valor nutricional de los alimentos suministrados al ganado, siendo uno de ellos la técnica de producción de gases (Posada y Noguera, 2005), la cual permite determinar la extensión y la cinética de degradación del alimento a través del volumen de gas producido durante el proceso fermentativo (Theodorou *et al.*, 1994). Tiene la ventaja sobre otros métodos que puede cuantificarse el papel de los componentes solubles del sustrato durante el curso de la fermentación (Pell *et al.*, 1997). Por otro lado Ceballos *et al.* (2008), mencionan que el sistema Daisy^{II} (ANKOM Corp., Fairport, NY, EEUU) se utiliza como método alternativo para calcular la degradación del alimento en el rumen en condiciones de laboratorio.

El forraje proveniente de árboles y arbustos puede utilizarse como alternativa en la suplementación del ganado en reemplazo total o parcial de concentrados, los cuales son de mayor costo y no contribuye a la degradación ambiental (Rodríguez, 2011).

La suplementación con forraje de *Moringa oleifera* Lam. (familia Moringaceae) es una eficiente vía para mejorar la utilización de dietas basales de baja a mediana calidad (Quintanilla-Medina *et al.*, 2018). Astutia *et al.* (2011), mencionan que *M. oleifera*, siendo una planta tropical, tiene el mayor potencial para aumentar el suministro de nutrientes y mejorar la fermentación microbiana del rumen. En el estudio de Melesse (2001) con *M. oleifera* y *M. stenopetala*, reportaron valores para producción de gas *in vitro* de 47.9 ml para *M. stenopetala*, siendo significativamente más alta que para *M. oleifera* (40.6 ml). De manera similar, los valores de energía metabolizable - EM (9.83 MJ kg⁻¹ de materia seca - MS), digestibilidad de la materia orgánica - DMO (76.4%) y ácidos grasos de cadena corta - AGCC (101 mmol) en *M. stenopetala* fueron significativamente más altos que los de *M. oleifera*.

Moringa oleifera y *M. stenopetala* son consideradas como fuentes de minerales, contienen un alto nivel de proteína cruda (PC), alta degradabilidad de la materia seca (MS) y de digestibilidad de materia orgánica

(MO) (Debela y Tolera, 2013). El follaje de *M. oleifera* en tres edades de rebrote (45, 60 y 75 días) presenta una alta y fácil degradación potencial en el rumen, tanto de la MS con 92.5, 98.8 y 96.4%, como de la MO con 66.8, 73.5 y 69.3%, respectivamente. Por su parte, Rodríguez *et al.* (2014) en un estudio realizado con moringa muestran que la digestibilidad *in vitro* de la MS fue más del 50%; asimismo muestran niveles de MO y fibra detergente neutra (FDN) de 59.34 y 63.75%, respectivamente. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar varios niveles de inclusión de forraje de *Moringa oleifera* en dietas para corderos en crecimiento sobre la cinética de fermentación ruminal y degradabilidad *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Estudio

El estudio de producción de gas *in vitro* se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal dentro de la Central Integral de Laboratorios de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

Hojas de *Moringa oleifera*

Las muestras de *M. oleifera* fueron colectadas en una pradera de un año, establecida en la Posta Zootécnica «Ing. Herminio García González», ubicada en el municipio de Güémez, Estado de Tamaulipas, a 145 msnm, zona que predomina un clima semiseco y cálido (INEGI, 2019).

Las hojas se colectaron por la mañana y fueron secadas durante 72 horas bajo sombra y a temperatura ambiente (35-40 °C), dentro de un invernadero colocando capas de 8-10 cm de espesor en mallas a 1.5 m de altura del suelo para mantener una mayor pérdida de humedad y evitar problemas de pudrición por hongos. Las hojas secas se tritu-

raron utilizando un molino Thomas-Wiley Mill® (Thomas Scientific, USA) y tamizadas en una malla de 1 mm de diámetro de poro. Fueron almacenadas a una temperatura entre 22 y 35 °C.

Tratamientos

Se utilizaron cinco tratamientos, expresados en g kg⁻¹ MS: Testigo (IM-0=0); Nivel de inclusión bajo (IM-10=100); Niveles de inclusión medios (IM-20=200, IM-30=300); Nivel de inclusión alto (IM40=400). En el Cuadro 1 se presenta la composición química y nutricional de las dietas experimentales.

Obtención del Inóculo

La obtención del líquido ruminal (inóculo) se realizó mediante la utilización de una sonda esofágica de 1 cm de diámetro y una bomba de vacío. Se extrajo líquido ruminal de cuatro corderos Pelibuey machos de peso 25 ± 2.5 kg y 135 días de nacidos, alimentados en pastoreo continuo en praderas de pasto Bermuda variedades Tiftón 68 (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) y 85 (*Cynodon dactylon* L. Pers.) establecidas bajo condiciones de riego. Los animales estuvieron en ayuno de 24 h con agua *ad libitum*. El líquido ruminal se trasladó al laboratorio en un recipiente térmico a 39-40 °C. En el laboratorio fue filtrado en cuatro capas de gasa simple para retirar las partículas de alimento y se mantuvo bajo flujo constante de CO₂ hasta la hora de inoculación.

Inoculación e Incubación de las Muestras

En los viales se depositaron 90 ml de medio nutritivo, incluyendo los blancos y los estándares (maíz, soya y búffel) y 10 ml de líquido ruminal. Se sellaron con un tapón de caucho y un anillo metálico a presión con una pinza, se agitaron se llevaron a incubación a 39 °C.

Cuadro 1. Composición química y nutricional de las dietas experimentales

Ingredientes	Dietas experimentales (g kg ⁻¹ MS)				
	IM-0	IM-10	IM-20	IM-30	IM-40
<i>Moringa oleifera</i>	0	100	200	300	400
Sorgo	330.9	319.0	307.2	295.3	283.5
Soya	180.9	153.5	104.5	65.6	26.5
Búffel	406.6	357,5	308.3	250.2	210.0
Melaza	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Minerales	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Nutrientes					
Proteína cruda	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
Energía metabolizable (Mcal kg ⁻¹ MS)	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Fibra detergente neutro	329.8	305.7	281.7	257.6	233.6
Fibra detergente ácido	172.1	161.2	150.4	139.5	128.6
Materia orgánica	901.9	899.7	897.5	895.3	893.1

IM-0: dieta testigo; IM-10; IM-20, IM-30, IM-40: dietas con nivel de inclusión de *Moringa oleifera* de 10, 20, 30 y 40%

Se utilizó un transductor de presión para medir la presión en psi (libras por pulgada cuadrada) de los gases acumulados en la parte superior de cada botella. Para cada medición, se perforaba los tapones de los viales con una aguja provista en el parte final del lector del transductor. Las mediciones se realizaron a las 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48 y 72 h pos-incubación. Luego de cada lectura, las botellas se agitaban y se reubicaban en la estufa.

Variables

Volumen de gas producido (ml g⁻¹ MS)

La presión generada por el gas en la parte superior de los viales de incubación se midió a través de un transductor de presión

conectado a un lector digital. La ecuación se obtuvo previamente usando PROC REG del programa SAS (año): $Y = 0.0854 + (5.2869) * X$, donde: Y = es el volumen (ml), X = es la presión (psi).

Los datos de producción de gas (ml g⁻¹ MS) se ajustaron utilizando la opción NLIN de SAS (2002) al modelo de France *et al.* (2000) para el volumen de gas producido como $A = b \times (1 - e^{-c(t-L)})$, donde A = es el volumen de producción de gas en el tiempo t; b = es la producción de gas asintótico (ml g MS⁻¹); c = es la tasa de producción de gas (/h) de la fracción de alimento b fermentable lentamente; L = es el tiempo de retardo discreto antes de la producción de gas.

Energía metabolizable (EM, MJ kg⁻¹ MS)

La energía metabolizable (EM, MJ kg⁻¹ MS) fue estimada de acuerdo con Menke y Steingass (1988) como sigue: $EM (MJ kg MS^{-1}) = 2.20 + 0.136 PG24 (ml 0.2 g^{-1} MS) + PC$, donde EM = energía metabolizable (MJ kg⁻¹ MS); PG24 = volumen de gas producido a la hora 24 (ml); y PC = proteína cruda (%) de cada muestra de *Moringa oleifera*.

Ácidos grasos de cadena corta (AGCC, mmol)

La concentración de ácidos grasos de cadena corta (AGCC, mmol) fue estimada utilizando la siguiente fórmula: $AGCC = -0.00425 + 0.0222 (PG24 \text{ en ml})$, donde AGCC = ácidos grasos de cadena corta (mmol); PG24 = volumen de gas producido a la hora 24 (ml).

Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS %) y materia orgánica (DIVMO %)

La digestibilidad *in vitro* de la MS y MO se calculó mediante la recuperación de la fracción no degradada al final de la incubación. Cada uno de los viales fue filtrado al vacío a través de crisoles de vidrio (porosidad 1-100 a 160 µm de tamaño de poro) secados a 100 °C durante 24 h, dejándose enfriar durante 5 min en un desecador y fueron pesados. Se calculó la DIVMS mediante la siguiente ecuación: $DIVMS (\%) = (W1 - [WR - WB] / W1) * 100$, donde DIVMS (%) = digestibilidad *in vitro* de la materia seca en porcentaje; W1 = peso de la MS de la muestra en gramos; WR = peso de la MS del residuo en gramos; WB = peso de la MS del blanco en gramos.

Una vez registrado el peso de los crisoles se incineró la muestra a 500 °C por 6 h para realizar el cálculo de la DIVMO mediante la siguiente ecuación: $DIVMO (\%) = (W1MO - [WRMO - WBMO] / W1MO) * 100$, donde DIVMS (%) = digestibilidad *in vitro* de la MS en porcentaje; W1MO = peso de la MO de la muestra en gramos; WRMO = peso de la MO del residuo en gramos;

WBMO = peso de la MO del blanco en gramos.

Análisis Estadístico

En el caso de la producción de gas *in vitro* se ajustaron los datos obtenidos mediante el modelo de France *et al.* (2000). Los datos de la fermentación ruminal *in vitro* y la digestibilidad de los nutrientes fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (IM-0, IM-10, IM-20, IM-30 e IM-40) y 5 repeticiones, utilizando procedimiento general para modelos lineales (GLM) de SAS (2002). La prueba de Tukey se utilizó para separar las medias significativas ($p=0.05$). Se utilizó la prueba de contraste polinómico para determinar el efecto lineal y cuadrático de los niveles de inclusión de *M. oleifera* sobre todas las variables dependientes.

RESULTADOS**Producción de Gas *in vitro***

No se observó efecto de los niveles de inclusión de *M. oleifera* en la producción de gas acumulada (ml g⁻¹ de MS) de la fermentación *in vitro* de las dietas a las 6, 12 y 24 h. Sin embargo, a las 48 h se observó que el nivel de inclusión IM₄₀ obtuvo el menor valor (115.98 mL g⁻¹). En el caso de la producción de gas acumulada a las 48 y 72 h, se observa un comportamiento lineal, donde al aumentar el nivel de inclusión de *M. oleifera* disminuye la producción de gas (Cuadro 2).

Los resultados de la cinética de producción de gas, valor energético, degradabilidad *in vitro* de la materia seca se presentan en el Cuadro 3. La asíntota de producción de gas (b) fue similar entre la dieta testigo (IM-0) y la dieta con el nivel de inclusión de 100 g kg⁻¹ MS (IM-10), siendo estos superiores al resto de las dietas evaluadas. Se observó que a medida que incrementa el nivel de inclusión de *M. oleifera* en la dieta, la variable de pro-

Cuadro 2. Producción de gas acumulada (ml g⁻¹ de MS) de la fermentación *in vitro* de dietas para corderos en crecimiento con diferentes niveles de *Moringa oleifera*

Dietas (g kg ⁻¹ MS)	Nivel de inclusión (g kg ⁻¹ MS)	Producción de gas (ml g ⁻¹)				
		6 h	12 h	24 h	48 h	72 h
Testigo	0	9.49 ^a	32.73 ^a	72.53 ^a	131.12 ^a	169.76 ^a
<i>M. oleifera</i>	100	9.34 ^a	31.31 ^a	68.75 ^a	123.26 ^{ab}	158.68 ^{ab}
	200	8.69 ^a	29.72 ^a	65.48 ^a	117.38 ^{ab}	150.98 ^b
	300	8.92 ^a	31.01 ^a	67.74 ^a	118.80 ^{ab}	149.93 ^b
	400	9.62 ^a	31.64 ^a	67.63 ^a	115.98 ^b	144.19 ^b
	Error estándar	-	1.064	2.120	3.276	3.894
Valor- <i>p</i>	-	0.3295	0.4162	0.2558	0.0330	0.0032
Testigo vs <i>M. oleifera</i>	-	0.3890	0.1493	0.0470	0.0044	0.0006
Lineal	-	0.8857	0.4722	0.1274	0.044	0.0002
Cuadrático	-	0.0680	0.1000	0.1261	0.1771	0.2528

Valores dentro de columnas con diferente literal son estadísticamente significativos. Tukey ($p < 0.05$). EEM = Error estándar de la media

ducción de gas tiende a decrecer. Así mismo para la fracción (*c*) se observó un comportamiento lineal donde a medida que incrementa el nivel de inclusión de *M. oleifera*, la velocidad a la que se produce el gas también se incrementa. Por otro lado, para la fase lag (*L*) se observa que la dieta testigo y las dietas con niveles de inclusión de 100, 200 y 300 g kg⁻¹ MS, iniciaron su producción de gas a la misma hora, y el nivel más elevado de inclusión de *M. oleifera* en la dieta obtuvo el menor valor (3.60 h) retardando el inicio de la producción de gas.

Digestibilidad *in vitro* de la MS y MO

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO) fue afectada por el nivel de inclu-

sión de *M. oleifera*, observándose una disminución de la degradabilidad conforme aumenta el nivel de inclusión, donde los niveles de 100 y 200 g kg⁻¹ MS igualaron al valor observado para la dieta testigo (796.33, 794.52 y 810.49 g kg⁻¹ de MS, respectivamente). Así mismo, cabe mencionar que el valor más bajo de degradabilidad (dieta con 400 g kg⁻¹ de MS) fue superior a 740 g kg⁻¹ MS, lo cual es aceptable. Para las variables de EM y AGCC no se observó efecto del nivel de inclusión de *M. oleifera*.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados del efecto de los niveles de *M.* sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la fibra a las 24 y 48 h de incubación en las botellas de fermentación. Los resultados para DMS a la hora 24 muestran un comportamiento cuadrático, observándose también que

Cuadro 3. Cinética de producción de gas, valor energético, degradabilidad *in vitro* de la materia seca de dietas para corderos en crecimiento con diferentes niveles de *Moringa oleifera*

Dietas	Nivel de inclusión (g kg ⁻¹ MS)	<i>b</i> (mL g ⁻¹)	<i>C</i> (/h)	<i>L</i> (h)	DIVMS (g kg ⁻¹ MS)	EM (MJ kg ⁻¹)	AGCC (mmol)
Testigo	0	244.85 ^a	0.0172 ^b	3.7165 ^{ab}	810.49 ^a	11.98 ^a	1.45 ^a
<i>M. oleifera</i>	100	224.43 ^{ab}	0.0180 ^b	3.6325 ^{ab}	796.33 ^{ab}	11.51 ^a	1.38 ^a
	200	213.31 ^b	0.0182 ^b	3.6990 ^{ab}	794.52 ^{ab}	11.40 ^a	1.31 ^a
	300	198.92 ^{bc}	0.0205 ^{ab}	3.7732 ^a	767.05 ^{bc}	11.41 ^a	1.36 ^a
	400	184.81 ^c	0.0227 ^a	3.6097 ^b	749.52 ^c	11.38 ^a	1.36 ^a
EEM	-	5.9547	0.0009	0.0367	9.0465	0.2621	0.0428
Valor- <i>p</i>	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Control vs <i>Moringa</i>	-	4989.46	0.000022	0.0045904	3610.49	1.2915	0.0343
Lineal	-	8480.20	0.000072	0.0021170	9235.56	0.6867	0.0191
Cuadrático	-	24.945	0.000007	0.0065361	301.66	0.7376	0.0191

b = Asíntota de producción de gas (ml g⁻¹ de MS); *c*: tasa de producción de gas (/h); *L*: fase *lag* (h); DIVMS: degradabilidad *in vitro* de la MS (mg/g de MS); EM: energía metabolizable (MJ/kg de MS); AGCC: ácidos grasos de cadena corta (mmol)

Valores en la misma columna con diferente literal son estadísticamente significativos Tukey (*p*<0.05)

EEM = Error estándar de la media

el nivel de inclusión de *M. oleifera* afecta la degradabilidad, donde la dieta testigo obtuvo el menor valor (603.3 g kg⁻¹ MS). Asimismo, las dietas con niveles de 100, 200 y 300 g kg⁻¹ MS, fueron superiores (624.2, 642.1 y 651.7 g kg⁻¹ MS, respectivamente). En la DMS a las 48 h no se observó efecto del nivel de inclusión.

Para el caso de la DFDN a la hora 24, se observó una disminución en la degradabilidad conforme aumento el nivel de inclusión de *M. oleifera*, no así para la DFDN a la hora 48 donde no se encontraron diferencias significativas con valores dentro del rango de 541 a 592 g kg⁻¹ MS. En el caso de la

DFDA a las 24 h se observa que el nivel de inclusión de *M. oleifera* más elevado (401.7 g kg⁻¹ MS) afecta la degradabilidad, caso contrario en los niveles de 0, 100, 200 y 300 g kg⁻¹ MS, donde no se encontró efecto, mostrando valores que oscilan entre 525 a 548 g kg⁻¹ MS.

Para la DFDA a las 48 h se encontró efecto cuadrático, observándose que las dietas con niveles de 0, 100, 300 y 400 g kg⁻¹ MS no mostraron diferencias estadísticas significativas (649.0, 639.0, 624.7 y 567.0 g kg⁻¹ MS, respectivamente). La dieta con el nivel de inclusión de 200 g kg⁻¹ MS obtuvo el valor más bajo de degradabilidad (532 g kg⁻¹ MS).

Cuadro 4. Niveles de *Moringa oleifera* en dietas para corderos en crecimiento sobre la degradabilidad *in vitro* de la materia seca y fibra a las 24 y 48 h de incubación en las botellas de fermentación

Dietas (g kg ⁻¹ MS)	Nivel de inclusión (g kg ⁻¹ MS)	Degradabilidad <i>in vitro</i> (g kg ⁻¹ MS)					
		DMS 24h	DMS 48h	DFDN 24h	DFDN 48h	DFDA 24h	DFDA 48h
Testigo	0	603.3 ^c	771.2 ^a	393.2 ^a	592.0 ^a	548.3 ^a	649.0 ^a
<i>M. oleifera</i>	100	624.2 ^{abc}	772.7 ^a	302.0 ^b	571.5 ^a	525.7 ^a	639.0 ^{ab}
	200	642.1 ^{ab}	741.1 ^a	301.0 ^b	547.3 ^a	540.6 ^a	532.0 ^b
	300	651.7 ^a	763.5 ^a	283.5 ^b	541.5 ^a	532.5 ^a	624.7 ^{ab}
	400	611.3 ^{bc}	760.7 ^a	313.4 ^b	555.0 ^a	401.7 ^b	567.0 ^{ab}
Error estándar	-	0.7647	0.8480	1.5468	1.1094	1.5571	2.4414
Valor- <i>p</i>	-	0.0057	0.1386	0.0047	0.1283	0.0003	0.0282
Testigo vs <i>M. oleifera</i>	-	0.0068	0.2470	0.0004	0.0470	0.0200	0.0585
Lineal	-	0.1018	0.2879	0.0045	0.0380	0.0002	0.0437
Cuadrático	-	0.0010	0.1827	0.0049	0.1411	0.0021	0.2804

DMS = degradabilidad *in vitro* de la materia seca; DFDN = degradabilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro; DFDA = degradabilidad *in vitro* de la fibra detergente ácido

EEM = Error estándar de la media

Valores en la misma columna con diferente literal son estadísticamente significativos Tukey ($p < 0.05$)

DISCUSIÓN

Producción de Gas *in vitro*

Con relación a la producción de gas, se pudo observar que a medida que se incrementó la inclusión de *M. oleifera* disminuyó la producción de gas a las 48 y 72 h de incubación. Resultados contrarios fueron mencionados por Foidl *et al.* (2001) quienes observaron que al incrementar los niveles de soya a diferentes se incrementaba la producción de gas, y que este aumento no era un indicio de un mejor aprovechamiento del alimento.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Molina-Botero *et al.* (2013), quienes mencionaron que a las 48 h no observaron diferencias en acumulación de gas entre las muestras ($p=0.86$), donde todos los forrajes y sus mezclas alcanzaron producciones de alrededor de 115 ml de gas g⁻¹ MO, lo cual corresponde al 77-83% del gas total producido durante el experimento; así mismo, mencionan que a medida que el proceso fermentativo avanza, el material es hidratado y colonizado por los microorganismos ruminales lo que origina diferentes tasas de degradación, dependiendo de la concentración de carbohidratos estructurales.

Por su parte, Montejo *et al.* (2012) en un estudio realizado con soya difieren con los resultados obtenidos en el presente estudio, reportando que a medida que aumentó el porcentaje de inclusión de soya se incrementó la producción de gas *in vitro*, posiblemente debido a las características de los alimentos incubados. Estos autores indican que dicho comportamiento es debido a que, al incubar una mayor cantidad de materia seca, hay más materia prima para el desarrollo de la actividad microbiana y ello trae consigo un aumento de la degradación del alimento, lo cual se percibe en un incremento de la producción de gas.

Por otro lado, Melesse (2001) reporta valores más altos de producción de gas *in vitro* (47.9 ml) para *M. stenopetala* que para *M. oleifera* (40.6 ml). Asimismo, obtiene valores más altos de EM, DMO y de ácidos grasos de cadena corta para *M. stenopetala* que para *M. oleifera*.

Digestibilidad *in vitro*

Los resultados de DIVMS no fueron constantes y más bien diferentes a los obtenidos por Molina-Botero *et al.* (2013) con gramíneas y leguminosas, quienes observaron un incremento de la DIVMS con el aumento de la inclusión de leguminosas, especialmente en animales en confinamiento, probablemente debido al bajo contenido de proteína en el pasto ángleton evaluado en ese estudio.

Similar situación fue reportada por García *et al.* (2006) trabajando con moringa, morera y leucaena, al obtener mayor degradación de la MS y la MO para moringa. Generalmente, las diferencias en la degradabilidad se relacionaron con sus contenidos de fibra y PB, debido a que estas especies tienen poca presencia de metabolitos tóxicos y bajas concentraciones de posibles factores anti-nutricionales (Rodríguez *et al.*, 2014).

Por último, Gutiérrez *et al.* (2015) observaron que la concentración de PB fue de 19.5% y menor de FDN (56.0%) en *M.*

oleifera. En el presente estudio, los parámetros (a, b, a+b) generados por el modelo matemático de degradación indicaron efectos significativos, donde el 60% de moringa en la mezcla mixta alcanza el valor más elevado de degradación de la MS con 69.8%.

CONCLUSIONES

Los resultados de producción de gas y degradabilidad *in vitro* sugieren utilizar niveles de inclusión de *M. oleifera* por debajo del 30% en dietas para corderos en crecimiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada al primer autor para realizar estudios de doctorado.

LITERATURA CITADA

1. **Astutia DA, Babab AS, Wibawanc IWT. 2011.** Rumen fermentation, blood metabolites, and performance of sheep fed tropical browse plants. *J Anim Sci Technol* 34: 201-206. doi: 10.5398/medpet.2011.34.3.201
2. **Debela E, Tolera A. 2013.** Nutritive value of botanical fractions of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala* grown in the mid-rift valley of southern Ethiopia. *Agroforestry Systems* 87:1147-1155. doi: 10.1007/s10457-013-9626-9
3. **Ceballos A, Noguera R, Bolívar DM, Posada SL. 2008.** Comparación de las técnicas *in situ* de los sacos de nylon e *in vitro* (Daisy^{II}) para estimar la cinética de degradación de alimentos para ruminantes. *Livestock Res Rural Develop* 20(7). [Internet]. Disponible: <http://www.lrrd.org/lrrd20/7/ceba20108.htm>
4. **Foidl N, Makkar HPS, Becker K. 2001.** The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial

- uses. In: Fuglie LJ (ed). The miracle tree. The multiple attributes of moringa. Dakar, Senegal. [Internet]. Available in: https://miracletrees.org/moringa-doc/the_potential_of_moringa_oleifera_for_agricultural_and_industrial_uses.pdf
5. **France J, Dijkstra J, Dhanoa MS, Lopez S, Bannink A. 2000.** Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed *in vitro*: derivation of models and other mathematical considerations. *Br J Nutr* 83: 143-150. doi: 10.1017/s000711450-0000180
 6. **García DE, Medina MG, Humbría J, Domínguez C, Baldizán A, Cova L, Soca M. 2006.** Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. *Arch Zootec* 55: 373-384.
 7. **Gutiérrez D, Borjas-Rojas E, Rodríguez-Hernández R, Rodríguez Z, Stuart R, Sarduy L. 2015.** Evaluación de la composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de ensilaje mixto con *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-169: *Moringa oleifera*. *Av Investig Agropecu* 19: 7-16.
 8. **[INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2019.** <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>.
 9. **Melesse A. 2001.** Comparative assessment on chemical compositions and feeding values of leaves of *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera* using *in vitro* gas production method. *Eth J Appl Sci Technol* 2: 31-41.
 10. **Menke KH, Steingass H. 1988.** Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim Res Dev* 28: 7-55.
 11. **Molina-Botero IC, Cantet JM, Montoya S, Correa-Londoño GA, Barahona-Rosales R. 2013.** Producción de metano *in vitro* de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *Rev CES Med Vet Zootec* 8: 15-31.
 12. **Montejo IL, López O, Sánchez T, Muetzel S, Becker K, Lamela L. 2012.** Effect of the soybean inclusion rate on the *in vitro* digestibility of the meal from *Moringa oleifera* pods. *Pastos y Forrajes* 35: 197-204.
 13. **Pell AN, Doane PH, Schofield P. 1997.** *In vitro* digestibility and gas production. In: Simposio sobre Tópicos Especiais em Zootecnia. Lavras, Brazil.
 14. **Posada SL, Noguera RR. 2005.** Técnica *in vitro* de producción de gases: una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. *Livestock Res Rural Dev* 17(4). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd17/4/posal70-36.htm>
 15. **Quintanilla-Medina J, Joaquín-Cancino S, Martínez-González J, Limas-Martínez A, López-Aguirre D, Estrada-Drouaillet B, et al. 2018.** Usos de *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) en la alimentación de rumiantes. *Agroproductividad* 11: 89-93.
 16. **Rodríguez PR. 2011.** Alimentación de vacas lecheras con *Moringa oleifera* fresco o ensilado y su efecto sobre la producción, composición y calidad de leche. Tesis de Maestría. Nicaragua: Univ. Nacional Agraria. Nicaragua. 35 p.
 17. **Rodríguez R, González N, Alonso J, Domínguez M, Sarduy L. 2014.** Valor nutritivo de harinas de follaje de cuatro especies arbóreas tropicales para rumiantes. *Rev Cubana Cienc Agr* 48: 371-377.
 18. **SAS Institute. 2002.** SAS User's guide: statistics v. 9.0. Institute. Cary NC, USA. 956 p.
 19. **Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. 1994.** A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim Feed Sci Technol* 48: 185-197. doi: 10.1016/0377-8401(94)90171-6