

Evaluación de las características de calidad, bromatológicas y fermentativas *in vitro* a diferentes tiempos de fermentación láctica de ensilados de mango maduro

Assessment of quality, bromatological and *in vitro* fermentative characteristics at different times lactic fermentation of ripe mango silage

Nicolás Torres Salado¹, Marcelino Gómez Trinidad¹, Paulino Sánchez-Santillán^{1,2}, Adelaido Rafael Rojas García¹, María de los Ángeles Maldonado Peralta¹, María Benedicta Bottini Luzardo¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar las características de calidad, bromatológicas y fermentativas *in vitro* de ensilados de mango maduro entre 28 y 168 días de fermentación láctica (FL). Los silos en bolsa (20 kg) se elaboraron con 80.64% de mango, 11.38% de pasto pangola, 4.55% de rastrojo de maíz, 2.04% de melaza y 1.36% de urea. El tiempo de apertura de los silos fue a los 28 (T1), 44 (T2), 97 (T3), 113 (T4), 126 (T5), 140 (T6), 154 (T7) y 168 (T8) d de FL. Se determinó pH, ácido láctico, materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa, producción de biogás y metano (CH₄), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), pH del medio, conteo de bacterias totales, degradación de la materia seca (DMS) y degradación de la fibra detergente neutro (DFDN). El análisis estadístico fue un diseño completamente al azar. El contenido de MS, pH, FDA y hemicelulosa no mostraron diferencias por el tiempo de FL ($p > 0.05$). T2 presentó mayor contenido de ácido láctico, sin diferencias con T1, T3 y T4 ($p > 0.05$). T1 mostró mayor contenido de PC que T2, T4 y T6 ($p < 0.05$), sin diferencias con el resto de los tratamientos ($p > 0.05$). La producción de biogás acumulado no se afectó con el tiempo de FL del ensilado ($p > 0.05$). La producción de CH₄ a las 72 h de incubación fue menor para T4, sin diferencias con T1, T3 y T5 ($p > 0.05$). La mayor DMS fue para T1, T2, T3, T7 y T8 ($p < 0.05$). La menor DFDN fue para T4 y T5 ($p < 0.05$). Bajo estas condiciones se concluye que el ensilado de mango maduro puede fermentarse lácticamente hasta por 168 días sin que se afecten sus características de calidad, bromatológicas y fermentativas *in vitro*.

Palabras clave: mango maduro, pasto pangola, ensilados, fermentación láctica, rumiantes

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero, Cuajinicuilapa, Guerrero, México

² E-mail: sanchezsantillanp@gmail.com

Recibido: 16 de julio de 2020

Aceptado para publicación: 2 de enero de 2021

Publicado: 24 de abril de 2021

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the quality, bromatological and *in vitro* fermentation characteristics of ripe mango silage between 28 and 168 days of lactic fermentation (LF). The silos in bags (20 kg) were made with 80.64% mango, 11.38% pangola grass, 4.55% corn stubble, 2.04% molasses and 1.36% urea. The opening time of the silos was at 28 (T1), 44 (T2), 97 (T3), 113 (T4), 126 (T5), 140 (T6), 154 (T7) and 168 (T8) d of LF. It was determined pH, lactic acid, dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF), hemicellulose, biogas and methane (CH₄) production, ammoniacal nitrogen (N-NH₃), pH of the medium, total bacteria count, dry matter degradation (DMD) and neutral detergent fibre degradation (NDFD). The statistical analysis was under a completely randomized design. The content of DM, pH, ADF and hemicellulose did not show differences by FL time of the silage ($p>0.05$). T2 presented higher lactic acid content, without differences with T1, T3 and T4 ($p>0.05$). T1 showed higher CP content than T2, T4 and T6 ($p<0.05$); without differences with the rest of the treatments ($p>0.05$). The accumulated biogas production was not affected by the FL time of the silage ($p>0.05$). CH₄ production after 72 h of incubation was lower for T4, without differences with T1, T3 and T5 ($p>0.05$). The highest DMD was for T1, T2, T3, T7 and T8 ($p<0.05$). The lowest NDFD was for T4 and T5 ($p<0.05$). Under these conditions, it is concluded that ripe mango silages can be lactic fermented for up to 168 days without affecting their *in vitro* quality, bromatological and fermentative characteristics.

Key words: ripe mango, pangola grass, silage, lactic fermentation, ruminants

INTRODUCCIÓN

El principal estado productor de mango en México es Guerrero, al generar 21% de la producción nacional con 385 125 t (SIAP, 2018). Las empresas industrializadoras de esta fruta generan volúmenes importantes de desechos o residuos como cáscaras, huesos, frutas dañadas o con problemas de madurez y calidad, todos los cuales representan una importante fuente de contaminación. Los desechos de la agroindustria se encuentran entre 28 y 43% del total del mango procesado (Guzmán *et al.*, 2010; Sumaya-Martínez *et al.*, 2012). Los desechos frutales almacenados sin tratamiento presentan inestabilidad y se fermentan rápidamente por efecto de la temperatura generando productos contaminantes (Cañeque y Sancha, 1998). Por otra parte, la estacionalidad de la producción del mango y los desechos generados por la agroindustria surgen como una opción de aprovecharlos en la alimentación de rumiantes en forma ensilada (Guzmán *et al.*, 2010).

El ensilado es la conservación de forrajes frescos u otros alimentos con elevado contenido de humedad (Cañeque y Sancha, 1998), cuyo objetivo es la conservación del valor nutritivo del alimento durante el almacenamiento (Garcés *et al.*, 2004). Las características del proceso de ensilado permiten conservar desechos agroindustriales (Valencia *et al.*, 2011), incluyendo los del mango (Guzmán *et al.*, 2010; Cavallini *et al.*, 2015; Sánchez-Santillán *et al.*, 2019). Una alternativa de ensilados con desechos frutales es la elaboración de silos en bolsa; los cuales deben hacerse rápidamente para conservar el máximo de los azúcares para asegurar una fermentación láctica. Un ensilado con desechos frutales debe tener valores de 3.8 ± 0.2 de pH, un contenido de ácido láctico promedio de 30 g kg⁻¹ de MS, presencia nula de ácido butírico y menos de 25 g kg⁻¹ de materia seca (MS) de ácido acético (Cañeque y Sancha, 1998).

Hernández-Rodríguez (2017) evaluó la composición química y características fermentativas de ensilados elaborados en bolsa con mango maduro molido y heno de pasto pangola (*Digitaria decumbens*) como absorbente de humedad; mientras Sánchez-Santillán *et al.* (2019) publicaron las variables de calidad de ensilado, análisis bromatológico, producción de biogás, metano y características fermentativas *in vitro* de ensilados elaborados en bolsa con mango maduro y heno de pasto pangola, en ambos casos realizando la apertura de los silos con 21 d de fermentación. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar las características de calidad, químicas y fermentativas *in vitro* de ensilados de mango maduro molido conservados mediante una fermentación láctica hasta por 168 días para establecer los cambios que ocurren durante la fermentación láctica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

El estudio se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero, ubicado en el municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

Elaboración de Silos

El desecho del mango maduro se recolectó de la empacadora del municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero. El ensilado estuvo compuesto por este desecho (80.64%), además de heno de pasto pangola (11.38%) con 120 d de rebrote, rastrojo de maíz (4.55%), melaza de caña de azúcar (2.04%) y urea (1.36%). El mango maduro, el rastrojo de maíz y el heno se molieron en una trituradora de forraje (M.A.GRO® TR-3500) con una criba de 2.54 cm. Se utilizaron bolsas de propileno (80 x 90 cm) para preparar silos, en unidades de 20 kg según la metodología descrita por

Lorenzo-Hernández *et al.* (2019). Los silos se dejaron fermentar por 28 días a temperatura ambiente en una galera.

La evaluación de los silos (3 repeticiones por tiempo de fermentación) se llevó a cabo en ocho tiempos de fermentación láctica, los cuales constituyeron los tratamientos en estudio: T1 = 28 d, T2 = 44 d, T3 = 97 d, T4 = 113 d, T5 = 126 d, T6 = 140 d, T7 = 154 y T8 = 168 d.

Indicadores de Calidad

En cada tratamiento se realizaron análisis para determinar la calidad de los ensilados. Para determinar el pH se utilizó la metodología descrita por Lorenzo-Hernández *et al.* (2019). El contenido de MS (método 930.15) se estimó según lo descrito por la AOAC (2005). El ácido láctico se determinó con la metodología de Kimberley y Taylor (1996) modificado por Lorenzo-Hernández *et al.* (2019).

Análisis Bromatológico

Las muestras de los ensilados se deshidrataron en una estufa (Riossa® HCF-41, México) a 60 °C por 72 h y fueron molidas en un molino Thomas-Wiley Mill (Thomas Scientific®, USA) con criba de 1 mm de diámetro. Se determinó el contenido de proteína cruda (PC; método 920.105), cenizas (Ce) y materia orgánica (MO; método 942.05) con los procedimientos descritos por la AOAC (2005). La fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA) se determinaron con el método descrito por van Soest *et al.* (1991). La hemicelulosa se calculó por diferencia entre FDN y FDA.

Medio de Cultivo

Se utilizó 30 ml de líquido ruminal bovino fresco centrifugado durante 10 min a 12 857 x g, 5 ml de solución mineral I [6 g K₂HPO₄ (Sigma-Aldrich) en 1000 ml de agua destilada], 5 ml de solución mineral II [6 g

KH_2PO_4 (Sigma-Aldrich) + 6 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Merck) + 12 g NaCl (Sigma-Aldrich) + 2.45 g MgSO_4 (Sigma-Aldrich) + 1.6 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich®) en 1 L de agua destilada], 0.1 ml de resarzurina a 0.1 % (Sigma-Aldrich), 0.2 g de peptona de soya (Merck), 0.1 g de extracto de levadura (Sigma-Aldrich), 4 ml de solución cisteína-sulfido [2.5 g L-cisteína (Sigma-Aldrich) en 15 mL de 2N NaOH (Meyer) + 2.5 g de $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Merck) aforado en 100 ml de agua destilada], 5 ml de solución a 8% de Na_2CO_3 (Merck) y 52.6 ml de agua destilada.

El medio se esterilizó durante 15 min en autoclave a 121 °C y 15 psi (Sánchez-Santillán *et al.*, 2016; Herrera-Pérez *et al.*, 2018). El bovino se manejó de acuerdo con el reglamento interno de bioética y bienestar de la UAGro con fundamento en las normas oficiales (NOM-062-ZOO-1999 y NOM-051-ZOO-1995).

Biodigestores

Los biodigestores se prepararon usando la metodología descrita por Torres-Salado *et al.* (2019), en la cual se cambió la fuente de carbono del biodigestor por uno de los tratamientos del presente estudio.

Producción de Biogás y Metano (CH_4)

La producción de biogás a las 24, 48 y 72 h de incubación se midió mediante el desplazamiento del émbolo de una jeringa de vidrio (50 ml; BD Yale®, Brasil), según lo descrito por Hernández-Morales *et al.* (2018). La producción de CH_4 a las 24, 48 y 72 h de incubación se midió con la metodología de Stolaroff *et al.* (2008) modificada por Torres-Salado *et al.* (2018) y Herrera-Pérez *et al.* (2018).

Características Fermentativas

A las 72 de fermentación se determinaron las características fermentativas *in vitro*. Para nitrógeno amoniacal (N-NH_3) se siguió la metodología de McCullough (1967) modificado por Herrera-Pérez *et al.* (2018). El

pH del medio se midió según lo descrito por Torres-Salado *et al.* (2019). La cantidad de bacterias totales se calculó según la metodología descrita por Sánchez-Santillán *et al.* (2016). La degradación de la materia seca (DMS) se calculó con la metodología descrita por Hernández-Morales *et al.* (2018) y Torres-Salado *et al.* (2019); mientras la degradación de la FDN (DFDN) fue según lo descrito por Hernández-Morales *et al.* (2018).

Análisis Estadístico

Las variables de PC, MS, Ce, pH silo, MO, FDN, FDA, Hemicelulosa (3 repeticiones independientes), ácido láctico (6 repeticiones independientes), producción de biogás, CH_4 , pH del biodigestor, DMS, DFDN (5 repeticiones independientes), N-NH_3 , y conteo de bacterias (3 repeticiones independientes) se analizaron en un diseño completamente al azar usando el procedimiento GLM (SAS, 2011). La diferencia entre promedios fue con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

RESULTADOS

Las características fisicoquímicas de ensilados de mango maduro con diferentes tiempos de fermentación láctica se presentan en el Cuadro 1. El contenido de MS, pH, FDA y hemicelulosa no mostró diferencias significativas por el tiempo de conservación de los ensilados, obteniendo en promedio 35.89% de MS, pH de 3.92, 31.91% de FDA y 24.18% de hemicelulosa. T2 presentó el mayor contenido de ácido láctico ($p < 0.05$), sin diferencias con T1, T3 y T4 ($p > 0.05$). Los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 no presentaron diferencias en el contenido de Ce ($p > 0.05$), indicando que de los 28 a 140 días de fermentación láctica no se afectó el contenido de cenizas de los ensilados de mango maduro. El contenido de MO en T1, T2, T6, T7 y T8 fue relativamente mayor, aunque sin diferencias significativas ($p > 0.05$), lo cual indicó que los ensilados durante los primeros

Cuadro 1. Características de calidad y bromatológicas de ensilados de mango maduro con diferentes tiempos de fermentación láctica

Tratamiento	MS	pH	Láctico	Ce	MO	FDN	FDA	Hemi	PC
T1	35.20	3.89	9.27 ^a	9.00 ^{abc}	91.00 ^{abc}	56.12 ^{ab}	31.32	24.80	18.76 ^a
T2	33.84	3.90	9.63 ^a	8.89 ^{abc}	91.11 ^{abc}	56.69 ^{ab}	31.74	24.95	17.19 ^b
T3	36.63	3.93	6.87 ^{abc}	9.10 ^{ab}	90.90 ^{bc}	56.47 ^{ab}	31.94	24.53	17.76 ^{ab}
T4	36.85	3.96	8.67 ^{ab}	9.16 ^{ab}	90.84 ^{bc}	55.72 ^{ab}	31.84	23.88	16.82 ^b
T5	36.14	3.97	5.87 ^{bc}	9.51 ^a	90.49 ^c	56.58 ^{ab}	32.01	24.57	17.48 ^{ab}
T6	36.34	3.91	5.49 ^c	7.95 ^{abc}	92.05 ^{abc}	57.39 ^a	32.74	24.65	16.80 ^b
T7	36.71	3.89	4.03 ^c	6.81 ^{bc}	93.19 ^{ab}	55.23 ^{ab}	32.24	23.00	17.53 ^{ab}
T8	35.40	3.92	6.29 ^{bc}	6.63 ^c	93.37 ^a	54.52 ^b	31.42	23.10	17.92 ^{ab}

^{a,b,c} Valores promedio con distinta letra en una misma columna son diferentes ($p < 0.05$)

MS = materia seca, %; pH = potencial de hidrógeno; Láctico = porcentaje de ácido láctico con respecto a la MS; Ce = cenizas, %; MO = materia orgánica, %; FDN = fibra detergente neutro, %; FDA = fibra detergente ácido, %; Hemi = hemicelulosa, %; PC = proteína cruda, %

T1 = 28 d, T2 = 44 d, T3 = 97 d, T4 = 113 d, T5 = 126 d, T6 = 140 d, T7 = 154, T8 = 168 d

44 días de fermentación láctica mostraron el mismo contenido de MO que los ensilados que tenían de 140 a 168 d. El contenido de FDN de los ensilados presentaron diferencias entre los 140 (T6) y 168 (T8) d de fermentación láctica ($p < 0.05$), pero sin diferencias significativas con los demás tratamientos ($p > 0.05$). Los ensilados con 28 d (T1) de fermentación láctica mostraron mayor contenido de PC que los ensilados con 44 (T2), 113 (T4) y 140 d (T6) ($p < 0.05$).

La producción acumulada de biogás y metano se presenta en el Cuadro 2. T7 y T8 mostraron la mayor producción de biogás a las 24 h de fermentación ($p < 0.05$), del cual 20.78% corresponde a CH_4 . A las 48 h de fermentación, los ensilados de 97 a 126 d (T3, T4 y T5) de fermentación láctica mostraron la menor producción de biogás, respecto a T7 y T8 ($p < 0.05$). En estos tratamientos, la fracción de CH_4 promedió 18.70%. A las 72 h de incubación, se observó que la produc-

ción de biogás acumulado no se afectó con el tiempo de fermentación láctica del ensilado, toda vez que los promedios fueron estadísticamente similares a T1 ($p > 0.05$); mientras que la producción de CH_4 a las 72 h de incubación fue menor para los ensilados de T4 ($p < 0.05$), aunque sin diferencias con T1, T3 y T5 ($p > 0.05$; Cuadro 2).

La mayor DMS se mostró en los tratamientos T1, T2, T3, T7 y T8 ($p < 0.05$) con un promedio de 71.55% DMS, indicando que los ensilados de 28 a 97 d y de 154 a 168 d de fermentación láctica mostraron mayor DMS que el resto de los ensilados. En contraste, la menor DFDN fue para T4 y T5 ($p < 0.05$) al promediar 45.87%; por lo que los ensilados con 113 y 126 d de fermentación láctica mostraron la menor DFDN, respecto al resto de los ensilados. Los ensilados con 113 d (T4) de fermentación láctica mostraron el mayor valor de pH del medio de cultivo a las 72 h ($p < 0.05$), en tanto que el mayor contenido de $N-NH_3$ del

Cuadro 2. Producción acumulada de biogás y metano a las 72 h en ensilados de mango maduro con diferentes tiempos de fermentación láctica

	Biogás acumulado total (ml g ⁻¹ MS)			Metano acumulado total (ml g ⁻¹ MS)		
	24 h	48 h	72 h	24h	48h	72h
T1	196.99 ^{bc}	254.66 ^{ab}	276.97 ^{abc}	38.75 ^{abc}	53.50 ^{ab}	60.03 ^{ab}
T2	196.27 ^{bc}	257.37 ^{ab}	284.99 ^{ab}	44.37 ^{ab}	61.10 ^a	69.06 ^a
T3	189.04 ^{cd}	245.03 ^{bc}	278.71 ^{abc}	32.43 ^{bc}	53.06 ^{ab}	61.07 ^{ab}
T4	160.75 ^d	209.44 ^c	246.80 ^c	28.53 ^c	40.28 ^b	48.68 ^b
T5	180.45 ^{cd}	232.36 ^{bc}	262.51 ^{bc}	36.43 ^{bc}	54.01 ^{ab}	63.22 ^{ab}
T6	194.65 ^{bc}	255.09 ^{ab}	286.77 ^{ab}	37.93 ^{abc}	56.68 ^a	65.22 ^a
T7	225.36 ^{ab}	287.04 ^a	311.38 ^a	51.22 ^a	65.91 ^a	72.00 ^a
T8	231.05 ^a	284.37 ^a	311.65 ^a	43.61 ^{ab}	57.24 ^a	63.86 ^a

^{a,b,c} Valores promedio con distinta letra en una misma columna son diferentes (p<0.05)

T1 = 28 d, T2 = 44 d, T3 = 97 d, T4 = 113 d, T5 = 126 d, T6 = 140 d, T7 = 154 y T8 = 168 d

medio de cultivo después de 72 h de fermentación fue para los ensilados con 28 (T1) y 44 d (T2) de fermentación láctica (p<0.05). El mayor conteo total de bacterias ruminales a las 72 h fue cuando se usó como sustrato ensilados con 28 (T1), 44 (T2) y 97 d (T3) de fermentación láctica (p<0.05; Cuadro 3).

DISCUSIÓN

Las características de calidad de un ensilado condicionan el proceso de fermentación, por lo que se requiere un pH de 3.5 (Garcés *et al.*, 2004), MS de 30 a 40% (SAGARPA, 2017) y de 8 a 12% de carbohidratos fermentables como sustrato para las bacterias ácido lácticas homofermentativas y heterofermentativas (Anaya-Reza y López-Arenas, 2018). En este sentido, los valores de MS, pH y ácido láctico encontrados en el presente estudio de ensilados de mango maduro fermentados hasta por 168 días indican que sus características de calidad no se vieron afectadas.

Los contenidos de FDN y FDA en el presente estudio se deben a la inclusión de heno de pasto pangola y rastrojo de maíz, los cuales contienen hasta 70% de FDN (de la Roza-Delgado, 2005). Estos elementos fueron incluidos porque el mango contiene de 79 a 94% de humedad (Yahía *et al.*, 2006; Sánchez-Santillán *et al.*, 2019) y se requería de ingredientes que contrarrestaran dicha humedad. Las diferencias en el contenido de PC con lo reportado para ensilado de maíz (Ruiz *et al.*, 2009) se debe a la inclusión de 1.36% de urea en este trabajo; dado que la urea contiene 286% de PC (NRC, 2007).

El contenido de MS y PC, así como el valor de pH fueron de 77.78, 10.11 y 84.52% mayores, además el contenido de ácido láctico, MO, FDN y FDA fueron 52.42, 0.96, 16.59 y 30.40% menores que lo reportado en ensilados de maíz (Ruiz *et al.*, 2009). De otra parte, valores inferiores al presente estudio fueron reportados por Hernández-Rodríguez (2017) en MS, FDN, FDA, PC, Ce, ácido láctico y pH en ensilados elaborados con 60%

Cuadro 3. Características fermentativas *in vitro* a las 72 h de incubación en ensilados de mango maduro con diferentes tiempos de fermentación láctica

	DMS	DFDN	pH	N-NH ₃	Bacteria
T1	70.68 ^{abc}	65.64 ^a	6.72 ^{bc}	28.76 ^a	9.73 ^{ab}
T2	72.48 ^{ab}	68.52 ^a	6.67 ^{bc}	26.19 ^{ab}	10.40 ^a
T3	69.42 ^{abc}	59.87 ^{ab}	6.73 ^b	23.44 ^{bc}	8.93 ^{abc}
T4	63.99 ^c	47.93 ^{bc}	6.80 ^a	24.10 ^{bc}	6.80 ^c
T5	64.33 ^c	43.81 ^c	6.72 ^{bc}	24.17 ^{bc}	6.93 ^c
T6	66.26 ^{bc}	61.74 ^{ab}	6.65 ^c	21.48 ^c	7.33 ^{bc}
T7	71.74 ^{ab}	64.74 ^a	6.69 ^{bc}	23.84 ^{bc}	6.53 ^c
T8	73.36 ^a	66.80 ^a	6.68 ^{bc}	23.77 ^{bc}	7.07 ^c

^{a,b,c} Valores promedio con distinta letra en una misma columna son diferentes ($p < 0.05$)

T1 = 28 d, T2 = 44 d, T3 = 97 d, T4 = 113 d, T5 = 126 d, T6 = 140 d, T7 = 154 y T8 = 168 d

DMS = degradación de materia seca, %; DFDN = degradación de fibra detergente neutro, %; pH = potencial de hidrogeno; N-NH₃ = nitrógeno amoniacal, mg dL⁻¹; Bacteria = 10⁸ células mL⁻¹

de mango maduro, 35% de heno de pasto pangola, 3% de melaza de caña y 2% de urea.

La producción de biogás sirve como un indicador indirecto de la cantidad de carbohidratos disponibles para la fermentación. La producción de biogás de los ensilados se puede asumir a la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos ruminales durante la fermentación y que la digestión de los carbohidratos produce CO₂ y CH₄ como producto de la fermentación (Elghandour *et al.*, 2016; Posada *et al.*, 2006); no obstante, resultados inferiores han sido publicados. Así, Lorenzo-Hernández (2017) reportó 69.77 ml de biogás g⁻¹ de MS en ensilados elaborados con 72.5% de residuos de calabaza, 22.5% de heno pangola, 3% de melaza y 2% de urea, lo que representó una producción de biogás acumulada a las 72 h de 304.86% menor al valor observado en el presente estudio. Cavallini *et al.* (2015) reportaron 191 ml g⁻¹ de MS en ensilados elaborados con mango maduro con 48 h de incubación, lo que representó 75.44% de lo producido en promedio

por los ensilados evaluados. Aragadvay-Yung *et al.* (2015), por otra parte, obtuvieron 240 ml g⁻¹ MS en ensilados elaborados con maíz, siendo 71.65 ml g⁻¹ MS menos que el ensilado de mango maduro con 168 días de fermentación láctica (T8).

El CH₄ es un gas de efecto invernadero y representa una pérdida de energía para el animal. Los ensilados en el presente estudio contenían grandes cantidades de carbohidratos estructurales (pasto pangola y rastrojo de maíz), los cuales durante su fermentación producen ácido acético, CO₂ e H₂ como productos finales. Estos productos son utilizados por *arqueas* metanogénicas como sustratos para producir energía y producen CH₄ como producto de dicha fermentación (Torres-Salado *et al.*, 2018). Por consiguiente, es importante identificar cuanto CH₄ corresponde del total de biogás producido, dado que a menor porcentaje sería menor la pérdida de energía contenida en los ensilados (Araujo *et al.*, 2011). Así, el ensilado con 113 días (T4) de fermentación láctica mostró que

CH₄ representó 17.74, 19.23 y 19.72% del total de biogás a las 24, 48 y 72 h de incubación.

La degradación de la MS permite establecer la cantidad de nutrientes disponibles para los microorganismos, de modo que degradaciones superiores a 60% se relacionan con bajas concentraciones de fibras detergentes o alta digestibilidad de estas (Hernández-Morales *et al.*, 2018); por lo que los ensilados con 168 días de fermentación láctica contienen fibras detergentes que no reducirían el consumo en el animal. Además, la degradación de la FDN permitió predecir que no se afectaría el consumo potencial de la materia seca, ya que se requieren degradaciones de FDN menores a 40% para estimar una afectación (Hoffman *et al.*, 2007; Torres-Salado *et al.*, 2019).

En los biodigestores del presente estudio se estimó en promedio una población de 10⁸ células ml⁻¹ a las 72 h de incubación, valores inferiores a lo reportado por Herrera-Pérez *et al.* (2018), Almaraz-Buendía *et al.* (2019) y Torres-Salado *et al.* (2019), quienes reportaron concentraciones de 10⁹ células ml⁻¹ a las 72 h de incubación en biodigestores inoculados con bacterias ruminales usando como sustratos rastrojo de maíz (Herrera-Pérez *et al.*, 2018), pastos tropicales con 56 d de rebrote (Almaraz-Buendía *et al.*, 2019) y heno de pasto cobra (*Brachiaria hibrido* CV. CIAT BR02/1794) con 56 d de rebrote (Torres-Salado *et al.*, 2019). Así mismo, los valores de pH del presente estudio fueron mayores a 6, por lo que no se afectó la adherencia de las bacterias celulolíticas al material celulósico (Nag-Jin *et al.*, 2005; Sánchez-Santillán *et al.*, 2016) ni se inhibió su crecimiento (Sánchez-Santillán y Cobos-Peralta, 2016). La concentración de N-NH₃ en los biodigestores se asumen al contenido y la degradabilidad de la PC que contiene el ensilado (Herrera-Pérez *et al.*, 2018), por lo que los valores reportados en el presente estudio se ubican dentro del rango reportado

por Mehrez *et al.* (1977), quienes estimaron una concentración entre 20 y 27 mg dl⁻¹ para alcanzar la máxima tasa de digestibilidad de la materia seca. Esto permite asumir que la población bacteriana probablemente se vea afectada por el tipo de sustrato usado en el biodigestor.

CONCLUSIONES

- Los valores reportados de materia seca, pH, ácido láctico, fibras detergentes, proteína cruda, cenizas y materia orgánica indicaron que los ensilados de mango maduro con una fermentación láctica hasta de 168 días no afectan sus características de calidad.
- El ensayo *in vitro* indicó que los ensilados de mango maduro tienen buena disponibilidad de carbohidratos estructurales y no estructurales.

Agradecimientos

A los alumnos Luis Gustavo Vélez Regino, Martín Pantalón de los Santos y Marcelino Gómez Trinidad por su participación en la realización del experimento, tanto en la elaboración de silos, como los análisis en el laboratorio. Este experimento fue financiado por el Cuerpo Académico UAGro-CA-183 «Producción Sustentable de Rumiantes en el Trópico» de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero.

LITERATURA CITADA

1. **Almaraz-Buendía I, García AM, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado, Herrera-Pérez J, Bottini-Luzardo MB, Rojas-García AR. 2019.** Análisis bromatológico y producción de gas *in vitro* de forrajes utilizados en el trópico seco mexicano. Arch Zootec 68: 260-266. doi: 10.21071/az.v68i262.4145

2. **Anaya-Reza O, López-Arenas T. 2018.** Design of a sustainable biorefinery for the production of lactic acid from sugarcane molasses. *Rev Mex Ingen Quím* 17: 243-259.
3. **AOAC. 2005.** Official methods of analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, VA, USA.
4. **Aragadvay-Yungána RG, Rayas AAA, Heredia-Nava D, Estrada-Flores JG, Martínez-Castañeda FE, Arriaga-Jordán CM. 2015.** Evaluación *in vitro* del ensilaje de girasol (*Helianthus annuus* L) solo y combinado con ensilaje de maíz. *Rev Mex Cienc Pecu* 6: 315-327.
5. **Araujo RC, Pires A, Mourão VGB, Abdalla AL, Sallam SMA. 2011.** Use of blanks to determine *in vitro* net gas and methane production when using rumen fermentation modifiers. *Anim Feed Sci Tech* 166-167: 155-162. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.009
6. **Cañeque MV, Sancha SJL. 1998.** Ensilados de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. Mundi-Pre-sa. 257 p.
7. **Cavallini J, Gil V, Ojeda A. 2015.** Effect of ripening stage and presentation form on chemical composition and *in vitro* digestibility of mango fruit (*Mangifera indica* L). *Livestock Research for Rural* 27(4). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd27/4/cava27059.html>
8. **de la Roza-Delgado B. 2005.** El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. En: IV Jornada de Alimentación Animal. Pontevedra, España.
9. **Elghandour MMY, Kholif AE, Lopez S, Mendoza GD, Odongo NE, Salem AZM. 2016.** *In vitro* gas, methane and carbon dioxide productions of high fibrous diet incubated with fecal inocula from horses fed live yeasts in response to the supplementation with different yeast additives. *J Equine Vet Sci* 38: 64-71. doi: 10.1016/j.jevs.2015.12.010
10. **Garcés MAM, Berrio RL, Ruiz AS, Guillermo SLJ, Builes AAF. 2004.** Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Lasallista Inv* 1(Suppl 1): 66-71.
11. **Guzmán O, Lemus C, Bugarín J, Bonilla J. 2010.** Ensilado de residuos de mango (*Mangifera indica* L) para la alimentación animal. Características fermentativas. *Rev Comp Prod Porcina* 17: 218-224.
12. **Hernández-Morales J, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Herrera-Pérez J, Rojas-García A, Reyes-Vázquez I, Mendoza-Núñez MA. 2018.** Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Rev Mex Cienc Pecu* 9 (Suppl 1): 105-120. doi: 10.22319/rmcp.v9i1.4332
13. **Hernández-Rodríguez I. 2017.** Composición química y evaluación *in vitro* de microensilados elaborados con mango y heno de pasto pangola. Tesis de Médico Veterinario. Cuajinicuilapa, Guerrero, México: Univ. Autónoma de Guerrero. 32 p.
14. **Herrera-Pérez J, Vélez-Regino LG, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Rojas-García A, Maldonado-Peralta M. 2018.** *In vitro* fermentation of fibrous substrates by water buffalo ruminal cellulolytic bacteria consortia. *Rev MVZ Córdoba* 23: 6860-6870. doi: 10.21897/rmvz.1374
15. **Hoffman PC, Lundberg KM, Bauman LM, Shaver RD, Contrearras-Govea FE. 2007.** Digestibilidad *in vitro* del FDN (fibra detergente neutro): el debate de 30 vs 48 horas. *Focus Forage* 5: 1-4.
16. **Kimberley A, Taylor C. 1996.** A simple colorimetric assay for muramic acid and lactic acid. *Appl Biochem Biotech* 56: 49-54. doi: 10.1007/BF02787869
17. **Lorenzo-Hernández R, Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Herrera-Pérez J, Mayren-Mendoza FJ, Sali-**

- nas-Ríos T, Rojas-García AR, et al. 2019.** Evaluación de las características de calidad y bromatológicas de ensilados elaborados con residuos de calabaza (*Cucurbita argyrosperma*). *Rev Int Contam Ambie* 35: 957-963. doi: 10.20937/RICA.2019.35.04.14
18. **Lorenzo-Hernández R. 2017.** Análisis químico bromatológico y producción de gas *in vitro* de microensilados de *Cucurbita argyrosperma* (calabaza) con heno de *Digitaria decumbens* (pangola). Tesis de Médico Veterinario. Cuajinicuilapa, Guerrero, México: Univ. autónoma de guerrero. 54 p.
 19. **McCullough H. 1967.** The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clin Chim Acta* 17 (2): 297-304. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(67\)90133-7](https://doi.org/10.1016/0009-8981(67)90133-7)
 20. **McCullough H. 1967.** The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clin Chim Acta* 17: 297-304. doi: 10.1016/0009-8981(67)90133-7
 21. **Mehrez By AZ, Orskov ER, McDonald I. 1977.** Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *Brit J Nutr* 38: 37-443. doi: 10.1079/bjn19770108
 22. **Nag-Jin C, Jee JIYI, Sejong O, Byoung-Chul K, HanJoon H, Young JK. 2005.** Effect of pH and oxygen on conjugated linoleic acid (CLA) production by mixed rumen bacteria from cows fed high concentrate and high forage diets. *Anim Feed Sci Tech* 123-124: 643-653. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.04.054
 23. **[NOM-062-ZOO-1999]** Norma Oficial Mexicana. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. [Internet]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf
 24. **[NOM-051-ZOO-1995]** Norma Oficial Mexicana. Trato humanitario en la movilización de animales. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. [Internet]. Disponible en: https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_bioet/051zoo_movilizacion.pdf
 25. **NRC. 2007.** Nutrient requirements of small ruminants (sheep, goats, cervids and new world camelids). Washington, DC: National Academy Press. 362 p.
 26. **Posada SL, Noguera R, Bolívar D. 2006.** Relación entre presión y volumen para la implementación de la técnica *in vitro* de producción de gases en Medellín, Colombia. *Rev Colomb Cienc Pec* 19: 407-414.
 27. **Ruiz BO, Castillo Y, Anchondo A, Rodríguez C, Beltrán R, La OO, Payán J. 2009.** Efectos de enzimas e inoculantes sobre la composición del ensilaje de maíz. *Arch Zootec* 58: 163-172. doi: 10.21071/az.v58i222.5274
 28. **[SAGARPA] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017.** Mango mexicano. Planeación agrícola nacional 2017-2030. [Internet]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257078/Potencial-Mango.pdf>
 29. **Sánchez-Santillán P, Cobos-Peralta MA, Hernández-Sánchez D, Alvarado AI, Espinosa-Victoria D, Herrera-Haro JG. 2016.** Uso de carbón activado para conservar bacterias celulolíticas liofilizadas. *Agrociencia* 50: 575-582.
 30. **Sánchez-Santillán P, Cobos-Peralta MA. 2016.** Producción *in vitro* de ácidos grasos volátiles de bacterias celulolíticas reactivadas y bacterias ruminales totales en sustratoscelulósicos. *Agrociencia* 50: 565-574.
 31. **Sánchez-Santillán P, Herrera-Pérez J, Torres-Salado N, Almaraz-Buendía I, Reyes-Vázquez I, Rojas-García AR, Gómez-Trinidad M, et al. 2019.** Chemical composition, and *in vitro* fermentation of ripe mango silage

- with molasses. *Agroforest Syst* 94: 1511-1519. doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00442-z>
32. **SAS. 2011.** SAS/STAT Software. Version 9.3. Cary, NC SAS, USA: Institute INC.
 33. **[SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2018.** Anuario estadístico de la producción agrícola. [Internet]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
 34. **Stolaroff JK, Keit DW, Lowry GV. 2008.** Carbon dioxide capture from atmospheric air using sodium hydroxide spray. *Environ Sci Technol* 42: 2728-2735. doi: 10.1021/es702607w
 35. **Sumaya-Martínez MT, Sánchez HML, Torres GG, García PD. 2012.** Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Rev Mex Agroneg* 30: 828-833
 36. **Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Rojas-García A, Herrera-Pérez J, Hernández-Morales J. 2018.** Producción de gases efecto invernadero *in vitro* de leguminosas arbóreas del trópico seco mexicano. *Arch Zootec* 67: 55-59. doi: 10.21071/az.v67i257.3347
 37. **Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Rojas-García RA, Almaraz-Buendía I, Herrera-Pérez J, Reyes-Vázquez I. 2019.** Producción de gas *in vitro* y características fermentativas de consorcios bacterianos celulolíticos ruminales de búfala de agua (*Bubalus bubalis*) y vaca Suiz-bu. *Agrociencia* 53: 145-159.
 38. **Valencia CA, Hernández BA, López BL. 2011.** El ensilaje: ¿Qué es y para qué sirve? *La ciencia y el hombre* 24(2): 1-3.
 39. **van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991.** Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 74: 3583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
 40. **Yahía E, de jornalas JP, Ariza RF. 2006.** El mango. México DF: Trillas. 224 p.